Administración de operaciones

13a

Producción y cadena de suministros

Richard B. Chase   F. Robert Jacobs

ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES

Producción y cadena de suministros

ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES
Producción y cadena de suministros

Decimotercera edición

F. Robert Jacobs
Indiana University

Richard B. Chase
University of Southern California

Revisión técnica

José Rodolfo Torres Matus
Instituto Tecnológico y de Estudios
Superiores de Monterrey
Campus Toluca

Carlos Rafael Gómez Valdez
Instituto Tecnológico y de Estudios
Superiores de Monterrey
Campus Querétaro

MÉXICO • BOGOTÁ • BUENOS AIRES • CARACAS • GUATEMALA • MADRID • NUEVA YORK
SAN JUAN • SANTIAGO • SAO PAULO • AUCKLAND • LONDRES • MILÁN • MONTREAL
NUEVA DELHI • SAN FRANCISCO • SINGAPUR • ST. LOUIS • SIDNEY • TORONTO

Director general: Miguel Ángel Toledo Castellanos
Editor sponsor: Jesús Mares Chacón
Coordinadora editorial: Marcela I. Rocha Martínez
Editoras de desarrollo: Ana Laura Delgado Rodríguez y María Teresa Zapata Terrazas
Supervisor de producción: Zeferino García García
Traducción: Jorge Humberto Romo Muñoz, Pilar Mascaró Sacristán y Martha Elsa Mauri Hernández

ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES. PRODUCCIÓN Y CADENA DE SUMINISTROS
Decimotercera edición

Edificio Punta Santa Fe
Prolongación Paseo de la Reforma 1015, Torre A
Piso 17, Colonia Desarrollo Santa Fe,
Delegación Álvaro Obregón
C.P. 01376, México, D. F.
Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana, Reg. Núm. 736

ISBN: 978-607-15-1004-4
ISBN (edición anterior): 978-970-10-7027-7

ISBN: 978-007-352522-8

1234567890 2356789014

Impreso en México *Printed in Mexico*

A mis padres, Joan y Jake, y a mis hijas Jennifer y Susy

A mi esposa, Harriet, y a nuestros hijos, Laurie, Andy, Glenn, Robb y Christine

Prefacio

La administración de operaciones y cadena de suministros (AOCS) es un elemento clave para el mejoramiento de la productividad en los negocios de todo el mundo. Establecer una ventaja creativa mediante operaciones requiere entender la forma en la que las funciones de operaciones y cadena de suministros contribuyen al crecimiento de la productividad. No obstante, el objetivo de este libro es hacer más que sólo mostrar al lector lo que hacen las empresas para crear una ventaja competitiva en el mercado, sino expresar un conjunto de conocimientos y herramientas que en realidad puede aplicar.

Hoy en día, los temas populares en los negocios relativos a la administración de operaciones y cadena de suministros son la sustentabilidad, las cadenas de suministro esbeltas y el mejoramiento de la eficiencia de los procesos de cadena de suministro. Estos temas se estudian en este libro con material actualizado y de alto nivel para exponer un panorama de lo que estos temas significan y de su importancia para los negocios en la actualidad.

Tres características nuevas y significativas en esta edición son: la incorporación de material que se refiere a la sustentabilidad en los procesos de cadena de suministro, un nuevo capítulo sobre procesos de atención médica y el uso de esquemas de corriente de valor. En el caso de la sustentabilidad, se entrelaza el tema del libro con material nuevo en la introducción y en los capítulos sobre estrategia, fuentes globales de suministro y adquisición, así como cadenas de suministro esbeltas y sustentables. Por primera vez se incluye un capítulo sobre procesos de atención médica en un libro introductorio de administración de operaciones y cadena de suministros. El material sobre los esquemas de valor es, asimismo, pionero respecto de la profundidad de cobertura del tema.

Global

Servicio

Cadena de suministro

Excel: Hoja de cálculo

La administración de operaciones y cadena de suministros requiere una perspectiva global en muchos sentidos. La realidad de clientes, proveedores y cadenas de suministro ha hecho que la "empresa global" reconozca la importancia de ser esbelta y ecológica para garantizar su competitividad. Las aplicaciones, desde manufactura de alta tecnología hasta servicios de óptima calidad, se suman al tratamiento equilibrado de los temas tradicionales de la materia. Para prosperar, las empresas requieren hoy administrar con éxito todo el flujo de suministros, desde las fuentes de abasto hasta a la venta, a través de un proceso de valor agregado de la compañía y de los clientes. Para destacar el énfasis de este libro en la globalización, los servicios y la integración de cadena de suministros, se han utilizado los íconos que se muestran al margen, junto al análisis de dichos temas.

Cada capítulo incluye información para resolver problemas relacionados con operaciones y cadena de suministros. Son tratamientos concisos de las numerosas decisiones que es necesario tomar en el diseño, la planeación y la administración de operaciones de un negocio.

La administración de operaciones y cadena de suministros (AOCS) es de interés para aquellos que desean estar directamente relacionadas con la fabricación de productos o la prestación de servicios. El especialista en operaciones de nivel básico es quien determina la mejor forma de diseñar, suministrar y hacer operar los procesos. Los altos gerentes de operaciones son responsables de establecer la dirección estratégica de la compañía desde el punto de vista de operaciones y cadena de suministros, decidiendo cuáles tecnologías deben utilizarse y en dónde deben ubicarse las instalaciones, así como administrar estas últimas para elaborar productos o dar servicios. La AOCS es una interesante mezcla de administración y de aplicación refinada de tecnología. El objetivo es crear riqueza eficientemente al proporcionar bienes y servicios de calidad.

Las características que permiten comprender mejor este libro incluyen lo siguiente:

- Problemas resueltos al final de los capítulos que sirven como modelos para resolver otros problemas.
- Términos clave destacados en el perfil del capítulo y sus definiciones al final de cada capítulo.
- Respuestas a problemas seleccionados en el apéndice D.

- Preguntas especiales en un cuestionario al final de cada capítulo diseñadas para requerir un conocimiento más profundo del material del capítulo. Son semejantes al tipo de preguntas de respuesta corta que pueden encontrarse en un examen.
- Los recuadros "Innovación" permiten repasar la forma en la que las empresas de alta tecnología aplican conceptos de la AOCS hoy en día.

Nuestra intención es abarcar los problemas más recientes e importantes a los que se enfrentan gerentes de la AOCS, así como herramientas y técnicas básicas. Damos numerosos ejemplos de compañías y prácticas de alta tecnología. Nos esforzamos en lo posible para que la lectura de este libro sea interesante y darle a usted una ventaja competitiva en su carrera.

Esperamos que lo disfrute.

PLAN DEL LIBRO

Este libro trata sobre métodos para producir y distribuir con eficacia los bienes y servicios que vende una compañía. Para comprender mejor la asignatura, este libro se organiza en cuatro secciones principales: Estrategia y sustentabilidad; Procesos de manufactura, servicio y atención médica; Procesos de una cadena de suministro; y Planificación de oferta y demanda. En los párrafos siguientes describimos rápidamente los principales temas del libro.

La estrategia y la sustentabilidad son conceptos importantes y recurrentes en el libro. Toda empresa debe tener un plan completo de negocios apoyado en estrategias de marketing, operaciones y financieras. Es esencial que una compañía se asegure de que las tres estrategias se apoyen mutuamente. La estrategia se expone aquí desde un punto de vista de alto nivel en el capítulo 2 (Estrategia y sustentabilidad), y se ven más detalles en tres capítulos: el 4 (Administración estratégica de la capacidad), el 11 (Compras y adquisiciones globalizadas) y el 13 (Cadenas de suministro esbeltas y sustentables). La razón para extender el material de estrategia en todo el libro es hacer las cosas más interesantes y ponerlas en un contexto apropiado. En general, se trata de dar al lector una "imagen panorámica" y luego llenar los detalles con los siguientes capítulos.

La línea vital de la compañía es "un flujo continuo" de productos innovadores que se ofrecen al mercado al costo más bajo posible. El diseño de productos y servicios (capítulo 3) abarca dicho diseño en el contexto real de tener que producir y distribuir el producto en todo su ciclo de vida útil. En el capítulo se aborda el manejo y análisis del impacto económico de un flujo de productos que se desarrollan en el tiempo.

La segunda sección del libro, Procesos de manufactura, servicio y atención médica, se dedica al diseño de procesos internos. El capítulo 4, Administración estratégica de la capacidad, presenta a grandes rasgos cómo las empresas aprovechan economías de escala, cómo aprenden con el tiempo y sus consiguientes implicaciones en costos. El capítulo 5, Análisis de procesos, trata sobre los aspectos prácticos de las gráficas de flujo de procesos y análisis de procesos estáticos, con ejemplos de la vida real que se entienden fácilmente. Los capítulos 6 y 7 abarcan las características únicas de los procesos de producción y servicio. Un material técnico fundamental, que se relaciona con actividades de diseño se estudia en los capítulos 6A (Distribución de las instalaciones) y 7A (Análisis de las filas de espera).

Los procesos en servicios médicos (capítulo 8) se estudian en un nuevo capítulo diseñado para mostrar la forma en la que los procesos de atención médica tienen características de producción y de servicios, según el tipo de actividad. La atención médica representa un campo de gran relevancia en negocios, ideal para la aplicación de conceptos y herramientas de la administración de operaciones y cadenas de suministro.

Un elemento esencial en el diseño de procesos es la calidad. La calidad Six-Sigma es el tema del capítulo 9. Aquí hablamos de conceptos de administración de calidad total, herramientas Six-Sigma e ISO 9000 y 14000. Los detalles técnicos que abarcan todos los aspectos estadísticos de calidad están en el capítulo 9A (Capacidad de procesos y control estadístico de procesos).

Los negocios tienen que cambiar para seguir siendo competitivos. Trabajar en proyectos ahora es muy común e incluso un método organizativo predominante en las empresas. El éxito de todo proyecto se mide invariablemente por la capacidad de completarlo a tiempo y dentro del presupuesto. ¿Cómo confiar en que se va a satisfacer el objetivo? Adquirir experiencia en administrar proyectos es importante para el éxito en la AOCS.

La tercera sección del libro, Procesos de una cadena de suministro, expande nuestro enfoque a todo el sistema de distribución, desde la adquisición de material y otros recursos hasta la distribución de productos y servicios. Se requieren numerosos procesos de transformación para unir una cadena de suministros. Las decisiones críticas son, por ejemplo, ¿dónde construir nuestra planta? ¿Qué equipo comprar o rentar? ¿Se subcontrata el trabajo o no? Son los temas de los capítulos 11 y 12 que se relacionan con el suministro, adquisición, ubicación de instalaciones y distribución. Todas estas decisiones tienen un impacto financiero directo en la empresa. En el capítulo 13 se analizan los conceptos de una manufactura esbelta y de procesos justo a tiempo (JIT, *just-in-time*). Se trata de ideas que utilizan empresas de todo el mundo y son promotoras importantes para sistemas de suministro esbeltos y de rápida respuesta.

La cuarta sección, Planificación de oferta y demanda, trata de las técnicas necesarias para operar realmente el sistema. Es el corazón de la AOCS. Los elementos básicos son administración y pronóstico de la demanda (capítulo 15), planificación de ventas y operaciones (capítulo 16), control de inventarios (capítulo 17), planificación de requerimientos de materiales (capítulo 18) y programación (capítulo 19). Estos procesos cotidianos a menudo se automatizan con sistemas de información por computadora. La cobertura de los sistemas de planificación de recursos de la empresa es el tema del capítulo 14.

Tomar decisiones con base en datos es la esencia de la AOCS, de manera que este libro presenta una extensa cobertura de métodos y herramientas para hacerlo. Una forma útil de clasificar decisiones es por su horizonte de planeación, es decir, el periodo que debe considerar quien tome las decisiones. Por ejemplo, construir una nueva planta sería una decisión de largo plazo que una compañía necesitaría satisfacer durante 10 a 15 años. En el otro extremo, decidir cuánto inventario debe ordenarse para un artículo en particular tiene por lo general un horizonte de planificación mucho más breve, de unos cuantos meses o en muchos casos de sólo unos días. Las decisiones de corto plazo suelen automatizarse con programas de computadoras. En el término medio están las decisiones necesarias para operar durante sólo 3 a 12 meses. Es frecuente que estas decisiones correspondan a cambios de modelos anuales y a ciclos estacionales de negocios.

Como se aprecia por este análisis, el material está entrelazado. La estrategia de una empresa dicta la forma en que se diseñan las operaciones. El diseño de la operación indica cómo debe administrarse. Por último, dado que se presentan constantemente nuevas oportunidades en forma de nuevos mercados, productos y tecnologías, una empresa necesita saber cómo manejar cambios.

RECONOCIMIENTOS

Innumerables expertos de gran talento hicieron grandes aportaciones a capítulos específicos en esta edición. Tenemos el gusto de agradecer a las siguientes personas:

Rhonda Lummus, de la Indiana University, por sus muchas ideas para mejorar el material sobre cadenas de suministro. Gene Fliedner, de la Oakland University, por su ayuda con el material de sustentabilidad. Craig Froehle, de la University of Cincinnati, por su revisión del capítulo de atención médica.

Chris Albright, Goker Aydin, Doug Blocher, Kyle Cattani, Seb Hesse, Gilvan Souza, Ash Soni y Wayne Winston, del Departamento ODT de la Kelley School of Business, Indiana University, por todo el tiempo que pasaron aportando ideas.

En el pasado, este libro recibió grandes aportaciones de las siguientes personas:

Luca Bencini, Rath y Strong, Barb Flynn, Indiana University/Purdue; Mark Ippolito, Indiana University/Purdue; y John R. M. Gordon, Queens University.

Una gran parte del esfuerzo de redacción son los complementos, y agradecemos el trabajo que facilita la enseñanza para todo aquel que utilice el texto. Rex Cutshall, de la Indiana University, preparó el material didáctico de ScreenCam. Patrick Johanns, de Purdue University, revisó las hojas de cálculo Excel. Bill Berry, de Queens College, actualizó el banco de pruebas. Ronny Richardson, de Southern Polytechnic State University, preparó las diapositivas PowerPoint y las soluciones paso a paso de los ejemplos. Christopher Kelly, de la University of Indianapolis, revisó el manual de soluciones y verificó la precisión de los programas del texto.

Deseamos expresar nuestra gratitud a los revisores de la duodécima edición, quienes aportaron muchas sugerencias útiles para esta decimotercera edición:

Nazim Ahmed, *Ball State University*
Tony Arreola-Risa, *Texas A&M University*
Craig Froehle, *University of Cincinnati*
Craig Hill, *Georgia State University*
Mehdi Kaighobadi, *Florida Atlantic*
Sham Kekre, *Carnegie Mellon University*
David Lewis, *University of Massachusetts, Lowell*
Marie Matta, *George Washington University*
Roy Nersesian, *Monmouth University*
Shrikant Panwalkar, *Purdue University*
Marc Schniederjans, *University of Nebraska, Lincoln*
Theresa Wells, *University of Wisconsin, Eau Claire*
Yuehwern Yih, *Purdue University*

Damos gracias especialmente a los participantes de los grupos de enfoque de McGraw-Hill/ Irwin:

Joy Field, *Boston College*
Daniel Heiser, *DePaul University*
James Ho, *University of Illinois, Chicago*
Mary Holcomb, *University of Tennessee*
Hsiu-Yueh Hsu, *University of Louisiana, Lafayette*
Rahul Kale, *University of North Florida*
Jian Li, *Northeastern Illinois University*
Nagesh Murthy, *University of Oregon*
Fariborz Partovi, *Drexel University*
Eddy Patuwo, *Kent State University*
Willard Price, *University of the Pacific*
Paul Schikora, *Indiana State University*
Don Smith, *California State University, Fullerton*
Harm-Jan Steenhuis, *Eastern Washington University*
Tekle Wanorie, *Northwest Missouri State*

También deseamos agradecer a las siguientes personas cuyas aportaciones a las ediciones anteriores ayudaron a que este libro evolucione a su forma presente: Ajay Aggarwal, *Millsaps College*; Frank Barnes, *University of North Carolina-Charlotte*; Marie-Laure Bougnol-Potter, *Western Michigan University*; Ajay Das, *Baruch College*; Art Duhaime, *Nichols College*; Frank Montabon, *Iowa State University*; Zinovy Radovilsky, *California State University-East Bay*; Kaushik Sengupta, *Hofstra University*; Kimberly Snyder, *Winona State University*; Jeremy Stafford, *University of North Alabama*; James Stewart, *University of Maryland, University College*; Ina Van Loo, *West Virginia University Institute of Technology*; David Alexander, *Angelo State University*; John Aloysius, *University of Arkansas*; Uday Apte, *Naval Postgraduate School*; Yasemin Askoy, *Tulane University*; Saba Bahouth, *University of Central Oklahoma*; Frank Barnes, *University of North Carolina–Charlotte*; Uttarayan Bagchi, *University of Texas*; Ravi Behara, *Florida Atlantic University*; Injazz J. Chen, *Cleveland State University*; Susan Cholette, *San Francisco State University*; Bruce Christensen, *Weber State University*; Chen-Hua Chung, *University of Kentucky*; Robert F. Conti, *Bryant College*; David Cook, *Old Dominion University*; Lori Cook, *DePaul University*; Bill Cosgrove, *California Polytechnic State University*; Henry Crouch, *Pittsburgh State University*; Dinesh Dave, *Appalachian State University*; Eddie Davila, *Arizona State University*; Renato de Matta, *University of Iowa*; Steven Dickstein, *The Ohio State University;* Chris Ellis, *Florida International University;* Farzaneh Fazel, *Illinois State University;* Mark Ferguson, *Georgia Institute of Technology;* Jonathan Furdek, *Purdue University-Calumet;* Michael R. Godfrey, *University of Wisconsin-Oshkosh;* Robert H, Greinier, *Augustana College;* D. M. Halemane, *Erasmus University, Rotterdam;* Marijane Hancock,

University of Nebraska-Lincoln; Paul Hong*, University of Toledo;* John Jensen*, University of Southern Maine;* Seung-Lae Kim*, Drexel University;* Vinod Lall*, Minnesota State University. Moorhead;* Dennis Krumwiede*, Idaho State University;* Paul J. Kuzdrall*, University of Akron;* David Levy*, Bellevue University;* Patrick McDonald*, University of Arizona;* Frank Montabon*, Iowa State University;* Alysse Morton*, University of Utah, Salt Lake City;* Buchi Felix Offodile*, Kent State University;* Özgür Özlük*, San Francisco State University;* Andru Peters*, San Jose State University;* Sharma Pillutla*, Towson University;* Anita Lee Post*, University of Kentucky;* Fred Raafat*, San Diego State University;* Drew Rosen*, University of North Carolina-Wilmington;* Edie K. Schmidt*, Purdue University;* Ruth Seiple*, University of Cincinnati;* Joao Neves*, College of New Jersey;* Sue Siferd*, Arizona State University;* Gilvan C. Souza*, University of Maryland;* Carl Steiner*, University of Illinois-Chicago;* Donna H. Stewart*, University of Wisconsin-Stout;* Gregory Stock*, Northern Illinois University;* Ronald Tibben-Lembke*, University of Nevada-Reno;* Vera Tilson*, Case Western Reserve University;* Vicente A. Varga*, University of San Diego;* Jay Varzandeh*, California State University-San Bernardino;* Rohit Verma*, Cornell Hotel School;* Bill L. Ward*, University of Western Alabama;* Helio Yang*, San Diego State University;* G. Peter Zhang*, Georgia State University.*

También deseamos agradecer a los ex alumnos de doctorado que hicieron aportaciones al libro en años pasados, como a Mahesh Nagarajan, *University of British Columbia*; Hiroshi Ochiumi, Wayne Johansson y Jason Niggley, *USC*; Douglas Stewart, *University of New Mexico*; Anderas Soteriou, *University of Cyprus*; Arvinder Loomba, *University of Northern Iowa*; Deborah Kellogg, *University of Colorado-Denver*; Blair Berkeley, *California State University-Los Angeles*; y Bill Youngdahl, *Thunderbird American Graduate School of International Management*.

Sinceramente agradecemos la sorprendente dedicación de nuestro editor ejecutivo, Dick Hercher. Con los años, su inteligente guía y apoyo incondicional sentaron la sólida base en la que se construye todo el equipo asociado a este libro.

Gail Korosa, nuestra editora de desarrollo, efectuó un gran trabajo en la edición de nuestros manuscritos y nos alentó para cumplir con los plazos. Gracias por la paciencia; es magnífico trabajar contigo.

Agradecemos al equipo de marketing y de producción de McGraw-Hill/Irwin que hacen esto posible: Melissa Caughlin, gerente de marketing; Stewart Mattson, director editorial; Christine Vaughan, gerente de proyecto; Jill Traut, gerente de proyecto; Michael McCormick, supervisor de producción; Matt Baldwin, diseñador; Kerry Bowler, gerente de medios del proyecto; y Greg Bates, productor de medios.

Por último, pero no menos, damos gracias a nuestras familias, quienes por decimotercera vez dejaron que el ciclo de vida del libro irrumpiera en la de ellos.

F. Robert Jacobs

Richard B. Chase

NOTA A PROFESORES

Análisis de revisiones de la 13a. edición

Al perfeccionar las revisiones para la decimotercera edición tuvimos el cuidado de hacer las secciones y capítulos tan modulares como fue posible. Esto permite omitir material o reacomodar temas según convenga. Nuestras exposiciones respecto de la formación actual de capítulos fueron extensas, pero vemos que, sin importar cómo organizamos el libro, fue todo un compromiso. Sabemos por experiencia que la presente distribución funciona bien.

Una característica totalmente nueva de este libro es la adición del capítulo sobre procesos de atención médica. Por la fuerte aceptación de conceptos de operaciones y cadena de suministro en esta industria, tenemos la impresión de que este capítulo era necesario. Hay grandes oportunidades para profesionales de las operaciones y cadena de suministro en esta industria. Uno puede ver este capítulo como "matriz" en cuanto a que trasciende muchos temas del libro. Según la aplicación, los procesos de atención médica comparten características de manufactura, servicios y cadena de suministro. Nuestra esperanza es que los estudiantes aprecien que los conceptos genéricos, como el análisis de procesos, administración de calidad y control de inventario, se aplican en muchos contextos diferentes de negocios. Pensamos que muchos estudiantes verán con interés las oportunidades que hay en esta industria para quienes tienen experiencia en administración de operaciones y cadenas de suministro.

Una segunda y nueva característica de este libro es el énfasis en sustentabilidad en lo que se refiere a la administración de operaciones y cadenas de suministro. Para incorporar esta característica en el libro decidimos entretejer la sustentabilidad en muchos campos de acción, como estrategia, administración de calidad y esquemas de corrientes de valor, adquisiciones y suministros globales, así como en los análisis de cadenas de suministro eficientes. La sustentabilidad es un tema que se ajusta bien dentro de la administración de operaciones y cadena de suministro debido al fuerte enlace entre ser ecológico y ser eficiente. Esto a veces es una relación sinérgica, pero otras comprende un difícil punto medio que es necesario considerar. La realidad de clientes, proveedores y cadenas de suministro globales hizo que la empresa global reconozca la importancia de ser eficiente y ecológica para asegurar su competitividad.

En esta decimotercera edición reforzamos considerablemente el material sobre administración de cadena de suministro. Esto es cierto sobre todo en adquisiciones y suministros estratégicos, y en el análisis de una cadena eficiente de suministros. Nuestro punto de vista es que la administración de operaciones, como campo de estudio, cambió de manera significativa en los últimos pocos años. Por el énfasis en integración entre proveedores, entidades de la firma y clientes, ya no podemos considerar los procesos aislados de otros. En cambio, la cadena de suministro es un conjunto integrado que requiere la sincronización de transporte, almacenamiento y distribución junto con procesos de manufactura de productos y de servicios internos. Este nuevo punto de vista integrado de cadena de suministro abarca incluso los importantes conceptos que intervienen en devoluciones de productos y en un eventual reciclado. Pensamos que el título de este libro, *Administración de operaciones. Producción y cadena de suministros*, capta la importancia de la integración de este conjunto de procesos internos y externos.

Una nueva característica importante es el cuestionario al final de cada capítulo. Se diseñó para permitir que el estudiante determine si entendió bien el material mediante un formato similar a lo que podría ver en un examen. Las preguntas permiten una respuesta corta o llenar el espacio en blanco. Muchas preguntas son fáciles, pero en cada capítulo incluimos preguntas que requieren profundidad de comprensión del material. El profesor puede aprovechar estas preguntas como parte de una sesión de repaso previa a un examen.

La siguiente lista resume las principales revisiones en cada capítulo:

- Capítulo 1, Administración de operaciones y cadena de suministros. Aquí replanteamos la comprensión de la administración de operaciones y cadena de suministros, sus orígenes y

cómo se relaciona con la práctica actual de negocios. Ahora introdujimos el marco sobre "planificar, adquirir, hacer, entregar, devolver" para entender cómo deben integrarse los procesos en la cadena de suministro.

- Capítulo 2, Estrategia y sustentabilidad. El capítulo tiene una introducción a la sustentabilidad y al material llamado objetivo triple (personas, planeta y utilidades). También incluimos nuevo material sobre el "proceso" de crear una estrategia.
- Capítulo 3, Diseño de productos y servicios. En relación con nuestro tema de sustentabilidad, agregamos material sobre ecodiseño a este capítulo. El ecodiseño es la incorporación de consideraciones ambientales en el diseño y desarrollo de productos o servicios.
- Capítulo 4, Administración estratégica de la capacidad. En este capítulo actualizamos nuestras descripciones de conceptos de enfoque en fábricas y plantas dentro de una planta.
- Capítulo 5, Análisis de procesos. En este capítulo se reescribió la explicación de la Ley de Little de modo que se aplique al análisis de procesos integrados de cadenas de suministro.
- Capítulo 6, Procesos de producción. Observe que aquí cambiamos el título de este capítulo a procesos de "producción" más que de "manufactura." Es un cambio importante porque generaliza el capítulo. Agregamos material del modelo SCORE (hacer, adquirir, entregar) y también el concepto de "punto de desacoplamiento del pedido de un cliente".
- Capítulo 7, Procesos de servicios. Agregamos este nuevo material sobre "servicios virtuales" y actualizamos la "proyección de servicio".
- Capítulo 8. Procesos en servicios médicos. Éste es un capítulo totalmente nuevo que describe procesos propios de hospitales, clínicas y otros lugares de atención médica. El ámbito del capítulo es general e incluye conceptos de análisis de flujo de trabajo, diseño, calidad, adquisiciones y cadenas de suministro.
- Capítulo 9. Calidad Six-Sigma. Aquí incluimos gráficas *c* al material que solicitaron varios revisores, y además eliminamos algunas notaciones en el capítulo.
- Capítulo 10. Proyectos. Por sugerencias de algunos revisores, este capítulo se cambió de lugar. Actualizamos la explicación de "reducción al máximo del tiempo de terminación".
- Capítulo 11. Compras y adquisiciones globalizadas. Agregamos una nueva introducción acerca de la "cadena de suministros ecológica" así como más información sobre diferentes tipos de procesos de adquisiciones e inventarios administrados por vendedores. Del mismo modo, agregamos un proceso de "adquisiciones ecológicas" que incluye material sobre el costo total de propiedad con un ejemplo y nuevos problemas.
- Capítulo 12. Ubicación, logística y distribución. El capítulo se afinó y se agregó un nuevo problema de tipo rompecabezas llamado "Oferta y demanda".
- Capítulo 13. Cadenas de suministro esbeltas y sustentables. Agregamos nuevo material sobre "cadenas de suministro ecológicas" y presentamos la forma en que esto se relaciona con ser "limpio". Incluimos una nueva sección importante sobre esquemas de corriente de valor con ejemplos y nuevos problemas. Todo el material "esbelto" se consolidó en este capítulo, junto con una exposición de los conceptos del sistema de producción de Toyota, de retirar según la demanda y de establecer redes de proveedores para apoyar procesos esbeltos.
- Capítulo 14. Sistemas de planificación de recursos empresariales. En este capítulo incorporamos material sobre cálculo en la "nube".
- Capítulo 15. Administración y pronóstico de la demanda. Aquí actualizamos la planeación, pronóstico y reposición colaborativos (PPRC) y lo cambiamos en el capítulo de modo que sirva para el análisis de la importancia de un proceso integrado con el fin de administrar la demanda. En términos de técnicas reales de pronóstico, la regresión es ahora la primera técnica analizada debido a su aplicabilidad general. También agregamos técnicas de "descomposición" (índices estacionales) a esta exposición. Añadimos ejemplos y problemas para apoyar este material.

Además de lo anterior, hay prácticamente cientos de otros pequeños cambios. Muchos se basan en la gran cantidad de realimentación de usuarios del libro. Por favor, no dude en enviarnos un e-mail o llamarnos si tiene comentarios o preguntas relacionadas con esta obra.

F. Robert Jacobs
Richard B. Chase

Guía

En la siguiente sección se destacan las características más importantes para dar al lector el mejor texto posible. Esperamos que estas características le brinden el máximo apoyo para aprender, entender y aplicar conceptos de operaciones.

Inicio de capítulo

Historias iniciales

Cada capítulo comienza con una breve historia para preparar el escenario y despertar el interés de los estudiantes en el material que están a punto de estudiar. Unos cuantos ejemplos son:

- The GAP, capítulo 1, página 3
- IKEA, capítulo 2, página 21
- Clínica Mayo, capítulo 8, página 263

Capítulo 13

CADENAS DE SUMINISTRO ESBELTAS Y SUSTENTABLES

Verde es el nuevo negro[1]

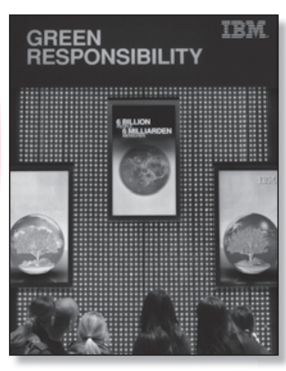
UNA ENCUESTA AFIRMA QUE LOS FABRICANTES CONSCIENTES DEL AMBIENTE SON EL MEJOR RIESGO PARA LOS INVERSIONISTAS

Global

A muchos fabricantes aún les costará mucho trabajo abordar los riesgos y oportunidades que plantea la presión hacia procesos de producción menos perjudiciales para el ambiente, de acuerdo con un estudio nuevo de RiskMetrics Group, proveedor de servicios de administración de riesgos. Dichos riesgos abarcan costos más elevados de energía debido a criterios más estrictos de emisiones de gases invernadero (GI), y entre las oportunidades se encuentra la creciente demanda global de productos con mayor eficiencia de energía.

Después de leer este capítulo, usted:

1. Describirá cómo los conceptos *verde* y *esbelto* se complementan entre sí.
2. Explicará cómo funciona el sistema de tiro de producción.
3. Entenderá los conceptos del sistema de producción de Toyota.
4. Resumirá los atributos importantes de una cadena de suministro esbelta.
5. Analizará un proceso de cadena de suministro mediante el mapa de flujo de valor.
6. Conocerá los principios de diseño de una cadena de suministro.



El informe clasifica a grandes fabricantes y otras empresas según su eficacia en áreas como reducción de emisiones de GI, introducción de proyectos eficientes en energía, expansión de adquisiciones de energía renovable e integración de factores climáticos en los diseños de productos. Sin embargo, quizá como reflejo del escepticismo de mucha gente respecto del papel exacto, si acaso le corresponde alguno, que desempeña el sector manufacturero en el calentamiento global, muchas empresas en gran medida ignoran el cambio climático, en particular en los ámbitos de juntas directivas y presidencias.

[1] Adaptado de D. Blanchard, *Green Is the New Black*, 1 de marzo de 2009, IndustryWeek.com

¿Qué se entiende por cadena mundial de suministros?

En una mina de hierro del oeste de Australia vi a un joven en una excavadora que paleaba mineral de color rojo oscuro del suelo. Yo daba seguimiento al proyecto de un mineral en su tránsito de materia prima a producto terminado. Después seguí un tren que llevó el mineral a un puerto, y luego se transportó en un barco chino que lo llevó a Japón. Ahí se refinó en lingotes de acero que se enviaron a una fábrica en las afueras de Tokio para construir el auto Corolla, de Toyota. A continuación abordé un enorme barco que llevaba miles de Toyotas por el océano Pacífico hasta Seattle.

El auto —pequeño, rojo, deportivo— hecho del mineral se descargó en Washington y lo colocaron en un camión. Fui en el camión hasta un distribuidor en San Francisco, donde compré el auto. Lo manejé hasta un puerto y abordé con el auto un barco de pasajeros noruego con destino a Australia. Diez días después llegamos y fui al risco donde estaba el joven operador de la excavadora.

"Aquí", le dije señalando el auto, "está lo que hizo su palada de mineral". Se sorprendió por eso, y también de que yo hubiera regresado a verlo, de que su palada de mineral se hubiese convertido en un auto y, más que nada, de que chinos, japoneses, estadounidenses, noruegos, gente de tantos países intervinieran en el proceso. "Creo que todos estamos enlazados, aunque creamos que no", afirmó.

Fuente: Adaptado de Simon Winchester, "How America Can Maintain It's Edge", Parade, 21 de diciembre de 2008, p. 8.

Recuadros

Los recuadros contienen ejemplos o ampliaciones de los temas presentados al destacar grandes compañías que practican nuevas y revolucionarias formas de realizar sus operaciones. Entre los ejemplos incluimos:

- Entender las cadenas de suministro globales, capítulo 1, página 6
- Estudio inicial de calidad de autos nuevos, de J. D. Power y Asociados, capítulo 9, página 289
- Subcontratación de conocimientos en 7-Eleven, capítulo 11, página 382
- El "señor Redondo" está de guardia en el Centro Médico de la Universidad de Hackensack, capítulo 8, página 275

Ejemplos con soluciones

Los temas cuantitativos se siguen con ejemplos que también demuestran procedimientos y técnicas específicos. Claramente basados en el texto, ayudan a que el estudiante entienda los cálculos.

EJEMPLO 4.1: Cómo determinar la capacidad que se requerirá

Stewart Company produce aderezos para ensalada de dos sabores: Paul's y Newman's. Los dos se presentan en botellas y sobres individuales de plástico de una porción. La gerencia quiere determinar el equipamiento y mano de obra que se requerirá en los próximos cinco años.

Solución

Paso 1. Prediga las ventas de los productos individuales de cada línea de productos con técnicas de pronóstico. El departamento de marketing, que realiza una campaña promocional del aderezo Newman's, proporcionó los siguientes valores para el pronóstico de la demanda (en miles) para los próximos cinco años. Se espera que la campaña dure los próximos dos años.

	Año				
	1	2	3	4	5
Paul's					
Botellas (millares)	60	100	150	200	250
Sobres individuales de plástico (millares)	100	200	300	400	500

Global

Los íconos con la palabra **Global** identifican ejemplos internacionales y análisis de texto.

Global

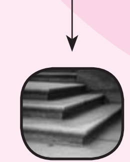
Cadena de suministro

Los íconos **Cadena de suministro** destacan áreas con un enlace directo a la administración de cadenas de suministro.

Cadena de suministro

Servicios

Los íconos **Servicio** alertan al estudiante respecto de ejemplos que se relacionan con servicios y empresas de servicios.


Servicio

Paso por paso

Todo ejemplo y problema resuelto en el libro incluye un ícono de **Paso a paso**. Atraen la atención a soluciones resueltas y detalladas en la página web del texto www.mhhe.com/jacobs13e

Paso a paso

Excel

Los íconos **Excel** llevan la atención a conceptos donde hay plantillas Excel en la página web del texto www.mhhe.com/jacobs13e

Excel

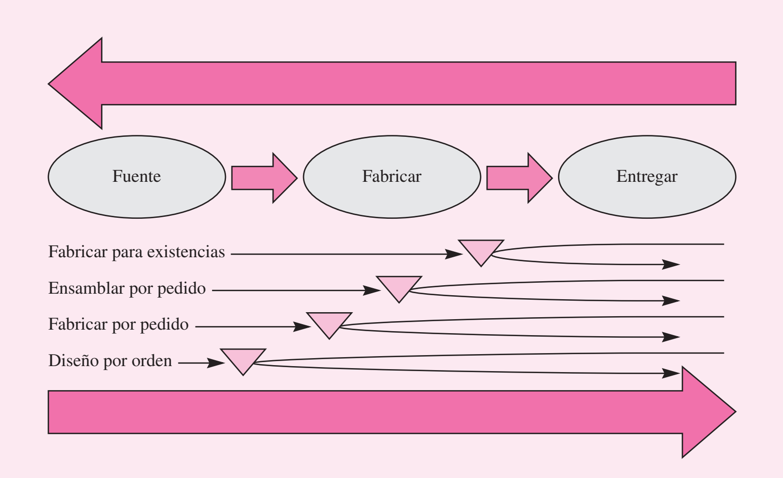
Tutoriales

Los íconos **Tutorial** destacan los enlaces con otros materiales didácticos de ScreenCam en la página web del texto www.mhhe.com/jacobs13e

Tutoriales

Fotos e ilustraciones

Más de 70 fotos y 200 ilustraciones en el texto mejoran el atractivo visual y aclaran las exposiciones. Muchas fotos ilustran ejemplos adicionales de compañías que utilizan los conceptos de operaciones y cadenas de suministro en sus negocios.



Equipo de diseño de Toyota en sus instalaciones de investigación y diseño Calty en California. Desde el concepto hasta los vehículos de competencia se considera a cada miembro del equipo tan importante como los vehículos que diseñan. Calty da soluciones de diseño para el desarrollo de producto de Toyota, Lexus y Scion.

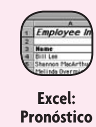
Problemas resueltos

Hay problemas representativos al final de capítulos apropiados. Cada uno incluye una solución que representa un repaso para el alumno antes de que resuelva problemas por sí mismo.

Problemas resueltos

Problema resuelto 1

Se presentan los datos por trimestres de los últimos dos años. Con estos datos prepare, mediante descomposición, un pronóstico para el año siguiente.



Excel: Pronóstico

Periodo	Real	Periodo	Real
1	300	5	416
2	540	6	760
3	885	7	1 191
4	580	8	760

Solución

(Observe que los valores que obtenga pueden ser un poco diferentes por redondeo. Los valores dados aquí se obtuvieron con una hoja de cálculo de Excel.)

(1) Periodo x	(2) Real y	(3) Promedio del periodo	(4) Factor estacional	(5) Demanda no estacional

Conceptos clave

El vocabulario de *Administración de operaciones. Producción y cadena de suministros* está destacado en esta sección al final de cada capítulo, junto con sus definiciones.

Conceptos clave

Curva de aprendizaje Línea que muestra la relación entre el tiempo de producción por unidad y el número acumulado de unidades producidas.

Aprendizaje individual Mejora que se obtiene de que las personas repitan un proceso y adquieran habilidad o eficiencia en razón de su propia experiencia.

Aprendizaje organizacional Mejora que se deriva de la experiencia y de los cambios en la administración, equipamiento y diseño del producto.

Revisión de fórmulas

Estas listas al final de los capítulos resumen fórmulas en un solo lugar para el fácil acceso y repaso del estudiante.

Revisión de fórmulas

Regresión de mínimos cuadrados

$$Y = a + bx \tag{15.1}$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \tag{15.2}$$

$$b = \frac{\sum xy - n\bar{x} \cdot \bar{y}}{\sum x^2 - n\bar{x}^2} \tag{15.3}$$

Error estándar del estimado

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - Y_i)^2}{n - 2}} \tag{15.4}$$

Promedio móvil simple

$$F_t = \frac{A_{t-1} + A_{t-2} + A_{t-3} + \cdots + A_{t-n}}{n} \tag{15.5}$$

Promedio móvil ponderado

$$F_t = w_1A_{t-1} + w_2A_{t-2} + \cdots + w_nA_{t-n} \tag{15.6}$$

Suavización exponencial simple

$$F_t = F_{t-1} + \alpha(A_{t-1} - F_{t-1}) \tag{15.7}$$

Cuestionario

Estos cuestionarios están diseñados para que el estudiante aprecie si entendió bien el material, con un formato similar a lo que podría ver en un examen. El cuestionario incluye muchas preguntas de repaso sencillas, pero también una selección que examina el dominio y comprensión en el nivel de integración y/o aplicación, es decir, la clase de preguntas que dificultan un examen. Los cuestionarios permiten respuestas cortas al final de modo que el estudiante determine su desempeño.

Cuestionario

1. Nivel de capacidad para el cual se diseñó un proceso y mediante el cual opera con un costo mínimo.
2. Una fábrica tiene una capacidad máxima de 4 000 unidades diarias con tiempo extra y sin el mantenimiento diario. Con 3 500 unidades diarias, la fábrica opera en un nivel en el que se reduce el costo unitario promedio. En la actualidad, el proceso está programado para operar en un nivel de 3 000 unidades diarias. ¿Cuál es la tasa de utilización de capacidad?
3. Concepto relativo a la obtención de eficiencia mediante la utilización completa de recursos dedicados, como mano de obra y equipo.
4. Instalaciones fabriles que limitan su producción a un producto único o a un conjunto de productos muy semejantes.
5. Término con que se designa la fabricación de múltiples productos (por lo general, semejantes) en una instalación con menos costos que un producto único.
6. Se tiene cuando se cuenta con la capacidad de atender a más clientes de los que se espera.
7. Al considerar una expansión de capacidad se tienen dos alternativas. Se espera que la primera cueste 1 millón de dólares, con una ganancia de 500 000 dólares durante los siguientes tres años. La segunda alternativa tiene un costo esperado de 800 000 dólares y una ganancia esperada de 450 000 dólares los tres años siguientes. ¿Qué alternativa se debe seleccionar, y cuál es el valor esperado de la expansión? Suponga una tasa de interés de 10%.
8. En un proceso de servicio como el del cobro en la caja de una tienda de descuento, una buena meta de utilización de capacidad es más o menos de este porcentaje.

1. Mejor nivel operativo 2. 85% 3. Economías de escala 4. Fábrica enfocada 5. Economías de alcance 6. Colchón de capacidad 7. Alternativa 1 Valor presente = 500 000 × (.909 + .826 + .751) ∠ 1 000 000 = \$243 000, Alternativa 2 Valor presente = 450 000 × (.909 + .826 + .751) ∠ 800 000 = \$318 700, la alternativa 2 es la mejor 8. 70 por ciento.

Contenido breve

Contenido

Sección 1

Estrategia y sustentabilidad

Sección 2

Procesos de manufactura, servicio y atención médica

SECCIÓN 4

PLANIFICACIÓN DE OFERTA Y DEMANDA

APÉNDICES

sección 1

ESTRATEGIA Y SUSTENTABILIDAD

ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES Y SUMINISTRO EN EL SIGLO XXI

La administración de una cadena moderna de suministro concierne, desde luego, a especialistas en manufactura, compras y distribución. Sin embargo, hoy en día, también es vital trabajar con directores generales de finanzas, de información y de operaciones, así como con ejecutivos de servicios al cliente y otros ejecutivos. Los cambios en la administración de operaciones y en la cadena de suministro han sido revolucionarios de verdad, y el ritmo de su avance no exhibe señal alguna de que se vaya a moderar. En una economía global cada vez más interdependiente e interconectada, el proceso de trasladar los suministros y los bienes terminados de un lugar a otro tiene lugar gracias a una apabullante innovación tecnológica, a ingeniosas aplicaciones nuevas de ideas antiguas, a unas matemáticas aparentemente mágicas, a un software muy potente y a los viejos conocidos: concreto, acero y músculo.

En la primera sección de esta obra se sientan las bases para comprender el dinámico campo de la administración de operaciones y suministro. Este libro habla del diseño y manejo de procesos para entregar los bienes y servicios de una empresa ciñéndose a las expectativas del cliente. Las empresas verdaderamente exitosas tienen una idea clara y definida de cómo pretenden ganar dinero. Trátese de productos o servicios para clases altas, hechos a la medida de las necesidades de un solo cliente o de mercancías genéricas baratas, adquiridas sobre todo en razón de su precio, la producción y la distribución competitivas de estos productos son un reto enorme.

Capítulo 1

ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES Y CADENAS DE SUMINISTRO

Las cadenas de suministro rápidas permiten que los minoristas reciban los artículos de moda para venderlos sin tardanza

Los minoristas ahora saben que para mantener buenas ganancias necesitan tener la mercancía de moda en sus aparadores tan pronto como sea posible. Las cadenas, desde JC Penney hasta J. Crew, se esfuerzan en precisar sus pedidos para tener en existencia solo lo suficiente de los estilos más llamativos y satisfacer a sus cada vez más volubles y ahorrativos consumidores. Los avances en software y en tecnología permiten que las tiendas ofrezcan lo más reciente semanas o incluso meses antes de lo que se acostumbraba, con lo cual dan a los minoristas una rentabilidad de mayor estabilidad. Los analistas de Piper Jaffray, empresa de consultoría, afirman que los márgenes de utilidad mejoraron para minoristas como Abercrombie & Fitch, Gap, Aéropostale y Kohl's debido a estos avances en tecnología.

Después de leer este capítulo, usted:

1. Entenderá por qué es importante estudiar administración de operaciones y cadenas de suministro.
2. Definirá operaciones eficientes y eficaces.
3. Clasificará operaciones y procesos de cadenas de suministro.
4. Contrastará diferencias entre servicios y procesos para la producción de bienes.
5. Identificará oportunidades en la carrera de administración de operaciones y cadenas de suministro.
6. Describirá el desarrollo de este campo con el tiempo.

Las logísticas eficientes tienen ahora un nuevo nivel de importancia. Hasta hace poco, muchas tiendas colocaban pedidos grandes por fax y teléfono: un proceso manual, lento y propenso a errores. Ahora, diversos software permiten a diseñadores, compradores y fabricantes ver muestras de telas o colores, todo al mismo tiempo, con lo que se elimina la necesidad de enviar paquetes o de que los diseñadores viajen por todo el mundo. Al llevar rápidamente los artículos más deseables a las tiendas, los minoristas también reducen su dependencia de las bajas de precios que les reducen ganancias. Asimismo, piden menos mercancía y hacen sus pedidos con más frecuencia, lo cual les permite ajustar pedidos con más facilidad una vez que ya no se vendan ciertos estilos o tallas.

Fuente: Adaptado de Jayne O'Donnell, "Stores Get Fashions to Market Lickety-Split", *USA Today,* 29 de mayo de 2008, p. 1B.

El objetivo es tener el producto adecuado en el lugar adecuado y en el momento adecuado. En estos tiempos competitivos, los minoristas de modas en particular necesitan ser ágiles y flexibles; no se pueden dar el lujo de contar con un inventario excesivo y, por tanto, la capacidad de reacción a lo que se vende es importante porque los clientes demandan los productos más innovadores y actuales. Así, los principales vendedores de hoy en día aplican técnicas de administración de operaciones y cadenas de suministros para estar al tanto de la oferta y la demanda tan eficiente y rápidamente como sea posible. Piensan en esta estrategia como un medio para acortar el tiempo en que se pasa de "concepto a dinero", y se esfuerzan en acercar al máximo el momento entre la aparición de un concepto de moda y el de la recepción de ingresos por las ventas de dicho concepto.

¿Qué quiere decir administración de operaciones y cadenas de suministro?

Administración de operaciones y cadenas de suministro (AOCS)

Servicio

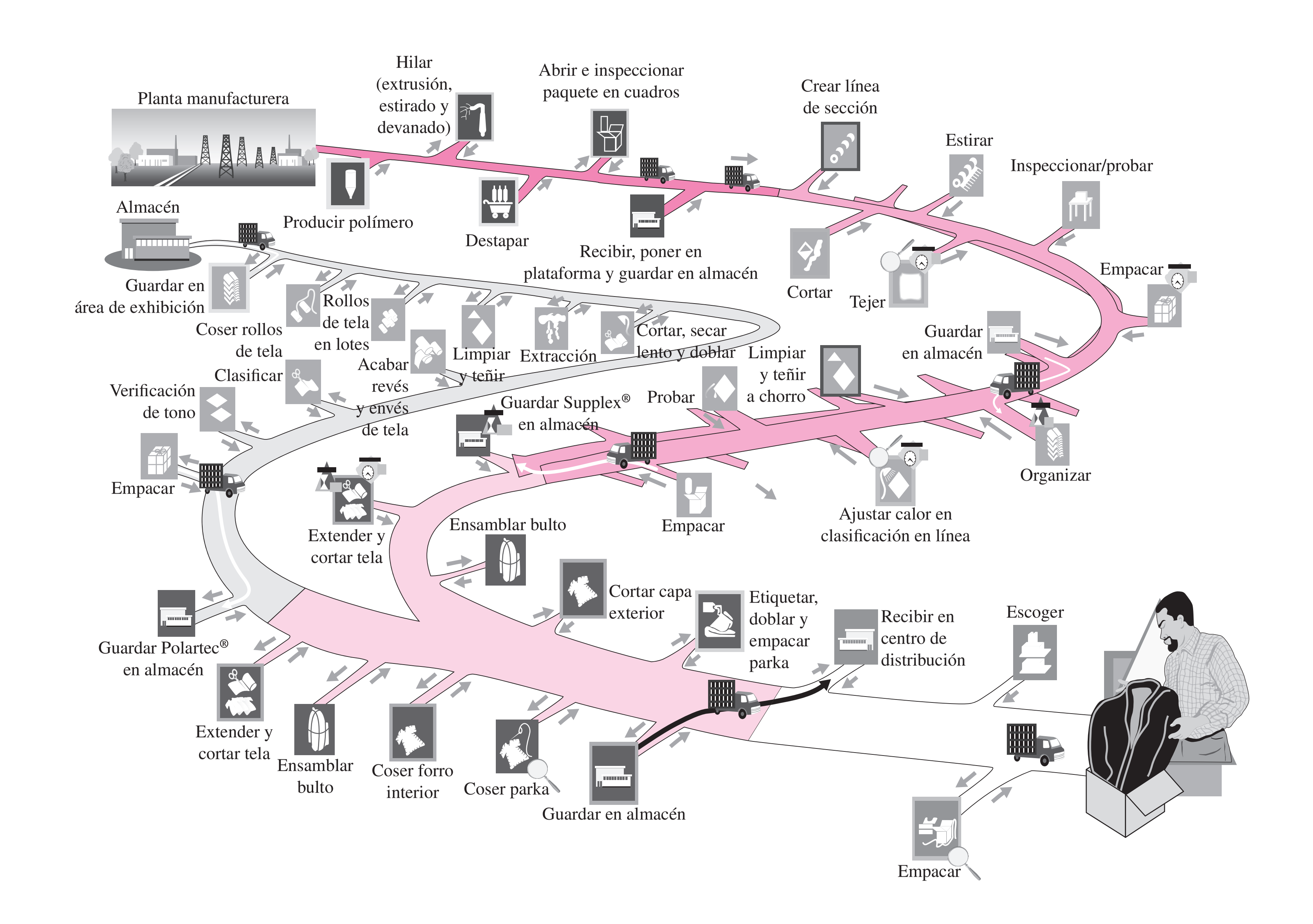
La **administración de operaciones y cadenas de suministro (AOCS)** se define como el diseño, operación y mejoramiento de los sistemas que crean y proporcionan los productos y servicios primarios de una empresa. Al igual que el marketing y las finanzas, la AOCS es un campo funcional de negocios con claras responsabilidades de administración de línea. La AOCS se ocupa de la gestión de todo un sistema que produzca un bien o preste un servicio. Producir un artículo como una chamarra de nailon Supplex para hombre (parka), o dar un servicio como una cuenta de teléfono celular, comprende una compleja serie de procesos de transformación.

La ilustración 1.1 muestra una red de suministro para una prenda de nailon Supplex para hombre (parka) que se vende en sitios de internet como L. L. Bean o Land's End. Observe los cuatro trayectos en la ilustración. El trayecto en color claro sigue las actividades necesarias para producir el material de aislamiento Polartec para las parkas. El aislamiento del Polartec se compra a granel y se procesa para obtener el acabado deseado, a continuación de lo cual se tiñe antes de verificar su consistencia o clase y color. A continuación se pasa a un almacén. El trayecto en verde claro sigue la producción del Supplex para las parkas. Con un polímero a base de petróleo, el nailon se extruye y estira para convertirlo en un material semejante al hilo. De aquí, el trayecto verde oscuro da seguimiento a los numerosos pasos para fabricar el Supplex parecido a la tela para hacer las parkas. El trayecto blanco muestra la convergencia del material Supplex y el Polartec para ensamblar una parka ligera y cálida. Los artículos terminados se envían a un almacén y luego continúan hasta el centro de distribución del vendedor al menudeo, o minorista; a continuación, se seleccionan y empacan para enviarse a cada cliente. Considere que la red de suministro es un conducto por la cual fluye material e información. Hay lugares clave en el conducto donde se guarda el material y la información para uso futuro: Polartec se almacena cerca del final del conducto en azul claro; Supplex, cerca del final del conducto verde claro. En ambos casos, la tela se corta antes de unirse en el conducto blanco. Al principio del trayecto blanco, los bultos de Supplex y Polartec se guardan antes de fabricar las parkas. Al final del trayecto blanco están los pasos de distribución que comprenden el almacenamiento para esperar pedidos, escogerlos de acuerdo con el pedido real del cliente, empacarlos y por último enviarlos al cliente final.

Se elaboran redes semejantes para cualquier producto o servicio. Por lo general, cada parte de la red está controlada por diferentes compañías entre las que se encuentran: el productor de Supplex, el productor de Polartec, el fabricante de parkas y el minorista de ventas por catálogo.

Todo el material se encarga a los transportistas, barcos y camiones en este caso. La red también tiene una dimensión global, pues cada entidad tiene el potencial de ubicarse en diversos países. Siga el trayecto de un auto Toyota en el recuadro "¿Qué se entiende por cadena mundial de suministros?". Para una transacción satisfactoria es necesario que todos estos pasos se coordinen y operen de modo que los costos se mantengan bajos y se reduzca al mínimo el desperdicio. La AOCS maneja todos estos procesos individuales en forma tan eficaz como sea posible.

ILUSTRACIÓN 1.1 Pasos del proceso para fabricar una prenda de nailon Supplex para hombre (parka).



¿Qué se entiende por cadena mundial de suministros?

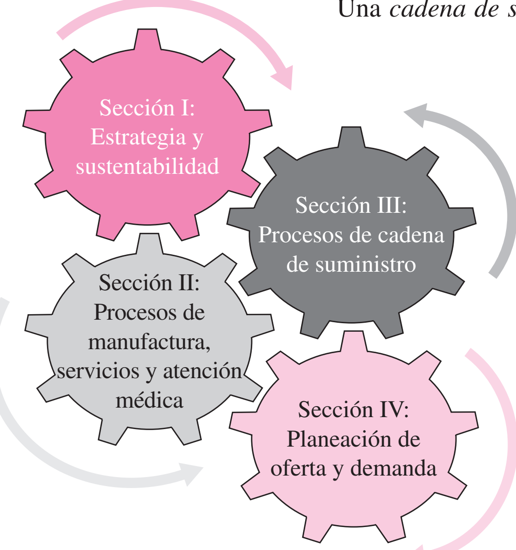
En una mina de hierro del oeste de Australia vi a un joven en una excavadora que paleaba mineral de color rojo oscuro del suelo. Yo daba seguimiento al proyecto de un mineral en su tránsito de materia prima a producto terminado. Después seguí un tren que llevó el mineral a un puerto, y luego se transportó en un barco chino que lo llevó a Japón. Ahí se refinó en lingotes de acero que se enviaron a una fábrica en las afueras de Tokio para construir el auto Corolla, de Toyota. A continuación abordé un enorme barco que llevaba miles de Toyotas por el océano Pacífico hasta Seattle.

El auto —pequeño, rojo, deportivo— hecho del mineral se descargó en Washington y lo colocaron en un camión. Fui en el camión hasta un distribuidor en San Francisco, donde compré el auto. Lo manejé hasta un puerto y abordé con el auto un barco de pasajeros noruego con destino a Australia. Diez días después llegamos y fui al risco donde estaba el joven operador de la excavadora.

"Aquí", le dije señalando el auto, "está lo que hizo su palada de mineral". Se sorprendió por eso, y también de que yo hubiera regresado a verlo, de que su palada de mineral se hubiese convertido en un auto y, más que nada, de que chinos, japoneses, estadounidenses, noruegos, gente de tantos países intervinieran en el proceso. "Creo que todos estamos enlazados, aunque creamos que no", afirmó.

Fuente: Adaptado de Simon Winchester, "How America Can Maintain It's Edge", Parade, 21 de diciembre de 2008, p. 8.

ILUSTRACIÓN 1.2
Organización de la AOCS. Integración de estrategia, procesos y planeación.



El éxito en los mercados actuales requiere una estrategia financiera que haga corresponder las preferencias de clientes con las realidades impuestas por complejas redes de suministros. Es de importancia crítica una estrategia sustentable que satisfaga las necesidades de accionistas y empleados, al mismo tiempo que cuide del ambiente. Los conceptos relacionados con el desarrollo de este tipo de estrategia son el tema de la sección 1 (vea la ilustración 1.2).

En el contexto de nuestro análisis, los términos *operaciones* y *cadena de suministro* adquieren un significado especial. Por *operaciones* se entienden los procesos de manufactura, servicio y atención médica mediante los cuales los recursos de una empresa se transforman en los productos deseados por los clientes. Estos procesos se estudian en la sección 2. Por ejemplo, un proceso de manufactura generaría algún tipo de producto físico, como un auto o una computadora; un proceso de servicio produciría un artículo intangible, como un centro de llamadas que proporciona información a clientes con algún percance en una carretera. Un hospital que da servicio a víctimas de accidentes en una sala de urgencias es un proceso de atención médica.

Una *cadena de suministro* se refiere a procesos que desplazan información y material con destino y origen en los procesos de manufactura y servicio de la empresa; entre estos se cuentan los procesos de logística, que mueven físicamente los productos, y los de almacenamiento, que colocan los productos para su rápida entrega al cliente. El suministro en este contexto se refiere a proporcionar artículos y servicios a plantas y almacenes en el extremo de entrada, y también proporcionar artículos y servicios al cliente en el extremo de salida de la cadena de suministro. Estos procesos se estudian en la sección 3.

Otro elemento de la AOCS es la planeación de la oferta y demanda necesarias para manejar y coordinar los procesos de manufactura, servicio y cadena de suministro. Entre estos se encuentra pronosticar la demanda, hacer planes de plazo intermedio para satisfacer la demanda, controlar diferentes tipos de inventario y programar procesos con detalle por semana. Los temas relacionados con esto se estudian en la sección 4.

Todos los gerentes deben entender los principios básicos del diseño de procesos de transformación. Esto implica comprender la

forma de organizar diferentes tipos de procesos, cómo determinar la capacidad de un proceso, cuánto tiempo tarda un proceso para producir una unidad, cómo vigilar la calidad de un proceso y cómo usar sistemas de planeación de información para coordinar estos procesos.

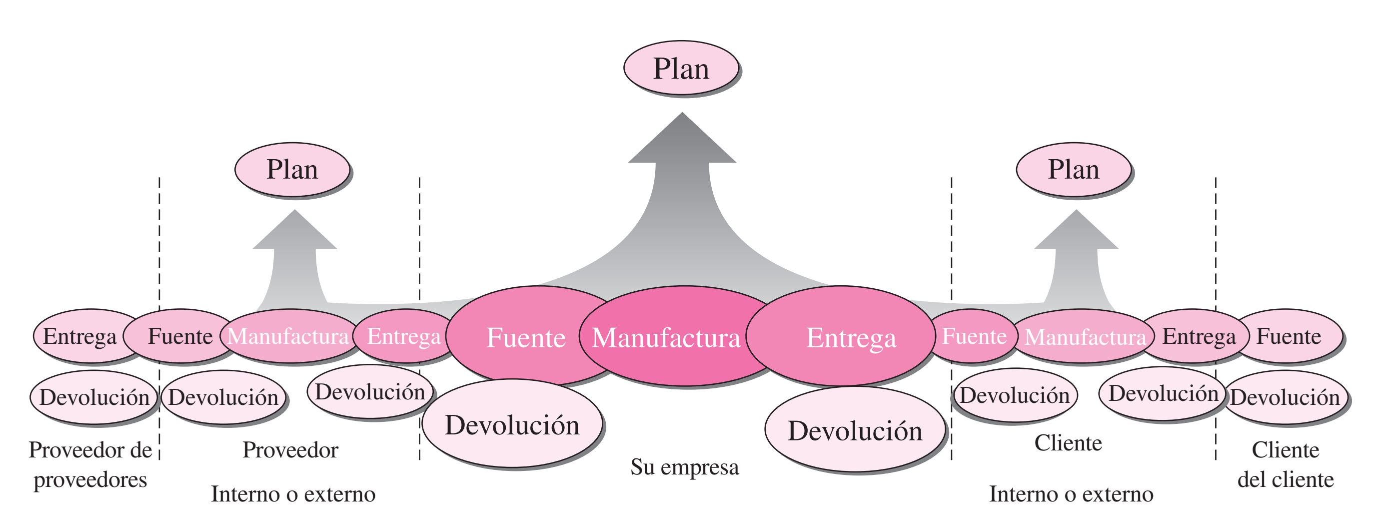
El campo de la administración de operaciones y suministro cambia todo el tiempo debido a la naturaleza dinámica de competencia en finanzas globales y a la constante evolución de la tecnología de información. Así, si bien es cierto que muchos conceptos básicos funcionan desde hace muchos años, su aplicación en formas nuevas e innovadoras es de lo más interesante. La tecnología de internet bajó el costo de compartir información confiable en tiempo real. La captura directa de información desde su origen a través de sistemas como puntos de venta, etiquetas de identificación de radiofrecuencia, escaneo de código de barras y de reconocimiento automático cambió el enfoque antiguo, y ahora se entiende lo que transmite toda la información, así como la forma de tomar buenas decisiones si se le aprovecha bien.

Procesos de operaciones y cadenas de suministro

Los procesos de operaciones y cadenas de suministro se clasifican en forma conveniente, sobre todo desde el punto de vista de un productor de bienes y servicios de consumo, como planeación, selección de proveedores, manufactura, entrega y devoluciones. La ilustración 1.3 describe en dónde intervienen los procesos de una cadena de suministro. A continuación se detalla la labor en cada tipo de proceso.

1. La **planeación** consta de los procesos necesarios para operar estratégicamente una cadena de suministro ya existente. Aquí, una compañía debe determinar en qué forma satisfacer una demanda anticipada con recursos disponibles. Un aspecto importante de la planeación es crear un conjunto de medidas para vigilar la cadena de suministro de modo que sea eficiente y entregue alta calidad y valor a los clientes.
2. Una **fuente** comprende la selección de proveedores que entregarán los artículos y servicios para crear el producto de la compañía. Es necesario un conjunto de procesos de determinación de precios, entrega y pagos junto con medidas para vigilar la mejora de relaciones entre los socios de la empresa. Entre estos conceptos se cuenta la recepción de envíos, verificarlos, transferirlos a instalaciones de manufactura y autorizar pagos a proveedores.
3. La **manufactura** es donde se fabrica el producto o se proporciona el servicio principal. Aquí se requiere programar procesos para trabajadores y coordinar material y otros recursos de importancia crítica, como el equipo de apoyo a la producción o para brindar el servicio. Se siguen pasos que miden la rapidez, calidad y productividad del trabajador para vigilar estos procesos.

ILUSTRACIÓN 1.3 Procesos de una cadena de suministro.



4. La **entrega** también se conoce como procesos de logística. Se seleccionan transportistas para mover productos a almacenes y clientes, coordinar y programar el movimiento de artículos e información a través de la red de suministro, formar y operar una red de almacenes, y operar los sistemas de información que manejen la recepción de pedidos de clientes además de los sistemas de facturación de pagos de clientes.
5. La **devolución** comprende los procesos para recibir productos desgastados, defectuosos y excedentes que envíen los clientes, así como dar apoyo a los clientes que tengan problemas con productos entregados. En el caso de servicios, esto puede comprender todo tipo de actividades de seguimiento que se requieran para apoyo después de ventas.

Para comprender el tema es importante considerar los muchos participantes que necesitan coordinar el trabajo en una cadena de suministro convencional. Los pasos mencionados de planeación, selección de proveedores, manufactura, entrega y devoluciones son adecuados para la manufactura y también para numerosos procesos donde no intervengan movimiento y producción discretos de piezas. En el caso de una compañía de servicios, como un hospital, los suministros suelen llegar diario por conducto de proveedores de medicamentos o equipo médico, y se requiere coordinación entre fabricantes de medicamentos, operaciones locales de almacenes, y servicios locales de entrega y recepción en hospitales. Es necesario programar a los pacientes en los servicios que presta el hospital, como operaciones y pruebas sanguíneas. También es necesario que otros campos de actividad, por ejemplo, salas de urgencias, cuenten con personal para dar servicio según la demanda. La coordinación de todas estas actividades es de importancia esencial para brindar un servicio de buena calidad con un costo razonable.

Servicio

Diferencias entre bienes y servicios

Hay cinco diferencias esenciales entre bienes y servicios. La primera es que un servicio es un proceso *intangible* que no se pesa ni mide, mientras que un bien es el producto tangible de un proceso y tiene dimensiones físicas. La diferencia tiene implicaciones muy importantes para la empresa, pues una innovación en los servicios, a diferencia de una innovación en un producto, no se puede patentar. Por tanto, la compañía que tiene un nuevo concepto se debe expandir con rapidez antes de que los competidores copien sus procedimientos. La intangibilidad de los servicios también representa un problema para los clientes porque, a diferencia de lo que ocurre con un producto material, no lo pueden probar antes de la compra.

Servicio

La segunda diferencia es que un servicio requiere cierto grado de *interacción con el cliente* para ser un servicio. La interacción puede ser breve, pero debe existir para que el servicio se lleve a cabo. Donde se requiera un servicio personal, las instalaciones deben diseñarse de modo que sea posible tratar con el cliente. Por otro lado, los bienes suelen producirse en instalaciones donde no entra el cliente. Se fabrican conforme a un programa de producción eficiente para la empresa.

La tercera diferencia es que los servicios, con la gran excepción de las tecnologías duras, por ejemplo, cajeros automáticos, y las tecnologías de la información como máquinas contestadoras e intercambios automatizados de internet, son inherentemente *heterogéneos*; es decir, varían de un día a otro, o incluso de una hora a la siguiente, en función de las actitudes del cliente y de los servidores. Por tanto, incluso labores muy sujetas a un programa, como los centros de atención telefónica, llegan a tener resultados imprevisibles. En cambio, los bienes se producen de modo que se sujetan a especificaciones muy estrictas, día tras día, con una variación prácticamente nula. En caso que se produzca un bien defectuoso, se repara o se desecha.

La cuarta diferencia es que los servicios, como un proceso, son *perecederos y dependen del tiempo* y, a diferencia de los bienes, no se pueden almacenar. En el caso de un vuelo de avión o un día en el campus es imposible "hacer una devolución de la semana pasada".

Y en quinto lugar, las especificaciones de un servicio se definen y evalúan en forma de *paquete de características* que afectan los cinco sentidos. Estas características son:

- Instalaciones de apoyo (ubicación, decoración, distribución, idoneidad arquitectónica, equipamiento).

- Bienes que faciliten las cosas (variedad, consistencia, cantidad de bienes materiales que entraña el servicio; por ejemplo, los alimentos propios del servicio de restaurante).
- Servicios explícitos (capacitación del personal de servicio, consistencia en la prestación del servicio, acceso al servicio, y su posibilidad y duración).
- Servicios implícitos (actitud de los prestadores, ambiente, tiempo de espera, condiciones, privacidad y seguridad, y comodidad).

Secuencia continua de bienes y servicios

Casi todos los ofrecimientos de productos son una combinación de bienes y servicios, como muestra la ilustración 1.4, ordenados a lo largo de una secuencia continua de "bienes puros" a "servicios puros". La secuencia continua capta el enfoque central del negocio y los espacios entre las empresas que solo fabrican productos y las que solo brindan servicios. Las industrias dedicadas a los bienes puros ahora son negocios de mercancías con márgenes bajos y, para distinguirse, en ocasiones añaden algunos servicios, por ejemplo, apoyar los aspectos logísticos del almacenamiento de bienes, mantener amplias bases de datos con información y brindar asesorías.

Servicio

Los proveedores de bienes básicos ya incluyen un importante componente de servicio como parte de su negocio. Por ejemplo, los fabricantes de automóviles proporcionan un extenso servicio de distribución de refacciones para apoyar a los talleres de reparación de los distribuidores.

Los prestadores de servicios básicos deben integrar algunos bienes tangibles. Por ejemplo, una compañía de televisión por cable debe proporcionar servicios de conexión y reparación, así como convertidores de alta definición. Los servicios puros, como los que ofrecería un despacho de asesoría financiera, quizá no necesiten muchos bienes que les faciliten las cosas, pero los que usan (por ejemplo, libros de texto, referencias de profesionales y hojas de cálculo) son fundamentales para su desempeño.

Estrategias de actividades de servicio

Actividades de servicios

Las **actividades de servicios** se refieren a las necesarias para que una empresa ofrezca productos a sus usuarios actuales, es decir, su base instalada. Tales servicios incluyen trabajos de mantenimiento, aprovisionamiento de piezas de repuesto, capacitación y, en algunos casos, sistemas totales de diseño y de investigación y desarrollo. Un conocido pionero en este campo es IBM, que trata su negocio como servicio y ve en los bienes físicos una pequeña parte de las "soluciones de negocios" que proporciona a sus clientes. Las compañías más exitosas con esta estrategia empiezan por diseñar los aspectos de servicio del negocio en conjunto para crear una organización de servicio consolidada. El servicio evoluciona a partir de la premisa de mejorar el rendimiento del producto con objeto de desarrollar sistemas y modificaciones que apoyen el movimiento de "flujo de valor" de la empresa hacia nuevos mercados. Sin embargo, una estrategia de actividades de servicio no necesariamente es el mejor método para todos los fabricantes de productos. En un estudio reciente se observó que, si bien es cierto que las empresas que

Servicio

ILUSTRACIÓN 1.4 Secuencia continua de bienes y servicios.

Bienes puros	Bienes básicos	Servicios básicos	Servicios puros
Productos alimenticios Productos químicos Publicaciones	Electrodomésticos Sistemas de almacenamiento de datos Automóviles	Hoteles Líneas aéreas Proveedores de servicios de internet	Enseñanza Consultas médicas Asesoría financiera

Bienes ← → **Servicios**

Fuente: Anders Gustofsson y Michael D. Johnson, *Competing in a Service Economy*, San Francisco, Jossey-Bass, 2003, p. 7.

Dos importantes bancos europeos ofrecen un ejemplo del crecimiento del sector de los servicios en el mundo.

proporcionan actividades de servicio generan ingresos más altos, tienden a generar menores utilidades como porcentaje de ingresos cuando se comparan con empresas menos dispersas. Esto sucede porque con frecuencia no generan ingresos o márgenes lo bastante altos para cubrir la inversión adicional requerida que cubra los costos relacionados con el servicio.

EL CRECIMIENTO DE LOS SERVICIOS

La ilustración 1.5 muestra con claridad el predominio de los servicios en las economías de todo el mundo. Si primero se observa el caso de Estados Unidos se verá que, en 1800, 90% de la población económicamente activa (PEA) trabajaba en el campo, ocupada en la producción agrícola. En la actualidad solo 3% de dicha población participa en tal producción. Esto representa un incremento de la productividad que se ha multiplicado por más de un millón en unos 200 años. La manufactura llegó a su cúspide en la década de 1950 y, en razón de la automatización y la subcontratación, ahora solo emplea alrededor de 27% de la PEA de Estados Unidos.

Servicio

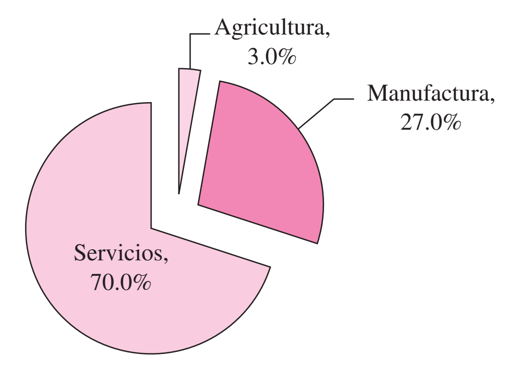
El viraje hacia los servicios no es un fenómeno propio de Estados Unidos ni de los países desarrollados; la gráfica muestra las primeras 10 naciones del mundo clasificadas con base en el tamaño de su PEA: China representa 21% de la PEA mundial, mientras que Alemania representa 1.4%. El sector chino de los servicios registró un incremento de 191% en los pasados 25 años, y el sector alemán, un incremento de 44% en los últimos 25 años. El cambio a los servicios representa la mayor fuerza de trabajo migratorio en la historia de la humanidad. Las comunicaciones globales, el crecimiento de los negocios y la tecnología, la urbanización y la mano de obra barata

Servicio

Global

ILUSTRACIÓN 1.5 Crecimiento internacional de los servicios.

País	Porcentaje de mano de obra mundial	Porcentaje de agricultura	Porcentaje de manufactura	Porcentaje de servicios	Crecimiento de los servicios en 25 años
China	21.0%	50.0%	15.0%	35.0%	191.0%
India	17.0	60.0	17.0	23.0	28.0
Estados Unidos	4.8	3.0	27.0	70.0	21.0
Indonesia	3.9	45.0	16.0	39.0	35.0
Brasil	3.0	23.0	24.0	53.0	20.0
Rusia	2.5	12.0	23.0	65.0	38.0
Japón	2.4	5.0	25.0	70.0	40.0
Nigeria	2.2	70.0	10.0	20.0	30.0
Bangladesh	2.2	63.0	11.0	26.0	30.0
Alemania	1.4	3.0	33.0	64.0	44.0



Mano de obra empleada en agricultura, manufactura y servicios en Estados Unidos

en los países en desarrollo explican este enorme cambio. El mundo se está convirtiendo en un colosal sistema de servicios, compuesto por seis mil millones de personas, millones de negocios y millones de productos tecnológicos conectados a redes de servicios.

Eficiencia, eficacia y valor

En comparación con la mayor parte de las formas como los gerentes tratan de estimular el crecimiento, por ejemplo, inversiones en tecnología, adquisiciones y campañas importantes de mercadeo, las innovaciones en operaciones son relativamente confiables y de bajo costo. Como estudiante de administración de empresas, el lector está muy bien ubicado para hallar ideas innovadoras relacionadas con operaciones, además de que entiende la imagen general de todos los procesos que generan los costos y apoyan el flujo de efectivo, esencial para la viabilidad a largo plazo de la empresa.

A lo largo de este libro, el estudiante conocerá los conceptos y herramientas con que las empresas de todo el mundo ahora diseñan operaciones eficientes y eficaces. Por **eficiencia** se entiende hacer algo con el costo más bajo posible. Más adelante definiremos esto en forma más completa, pero, en términos generales, el objetivo de un proceso eficiente es producir un bien o dar un servicio con la menor entrada de recursos. Por **eficacia** se entiende hacer las cosas correctas para crear el mayor valor para una compañía. Con frecuencia, maximizar la eficacia y la eficiencia al mismo tiempo crea conflicto entre ambos objetivos. Vemos este término medio en la vida diaria. En el mostrador de servicio a clientes en una tienda local o en un banco, ser eficiente significa el menor número posible de empleados en el mostrador, pero ser eficaz signi-

Eficiencia

Eficacia

Servicio

Entender las operaciones

EFICIENCIA. LOS DETALLES SON LOS QUE CUENTAN

Recibir a los pasajeros rápidamente en un avión afecta en gran medida los costos de una línea aérea. Southwest afirma que si sus tiempos de abordaje aumentaran 10 minutos por vuelo, necesitaría 40 aviones más con un costo de 40 millones de dólares cada uno para realizar el mismo número de vuelos que en la actualidad.

No toda innovación en la industria aeronáutica es de Southwest. La línea US Airways, en colaboración con investigadores de la Universidad del Estado de Arizona, ideó un innovador sistema de abordaje llamado “pirámide invertida”. Los primeros pasajeros de clase turista en abordar son aquellos con boletos de asiento junto a las ventanillas de la parte media y posterior del avión, y, a continuación, poco a poco entran pasajeros con asientos junto a ventanillas o en la parte posterior, hasta que al final abordan pasajeros con asientos a lo largo del pasillo en el frente. Esto contrasta con el método de muchas líneas de abordar a partir de la parte posterior del avión hacia adelante.

El tiempo que tardan los pasajeros en abordar es más del doble desde 1970, según estudios de Boeing Co. Un estudio de mediados de la década de 1960 reveló que abordaban un avión 20 pasajeros por minuto; hoy en día esa cifra descendió a nueve por minuto porque los pasajeros llevan consigo equipaje de mano más pesado. Boeing y Airbus, los dos principales fabricantes de aviones comerciales, se esfuerzan en mejorar el tiempo de abordaje como argumento de venta para las líneas aéreas.

Fuente: Interfaces, mayo/junio de 2005, p. 194.

Valor

fica reducir al mínimo el tiempo que los clientes tienen que esperar en una fila. Relacionado con la eficiencia y la eficacia está el concepto de **valor**, que metafóricamente se define como calidad dividida entre precio. Si usted proporciona al cliente un auto mejor sin cambiar el precio, el valor sube; si da al cliente un auto mejor con un precio *menor*, el valor sube mucho más. Un objetivo primordial de esta obra es mostrar la forma en que una administración inteligente alcanza altos niveles de valor.

Carreras en la administración de operaciones y cadenas de suministro (AOCS)

¿Qué hacen las personas que dedican su carrera a la administración de operaciones y cadenas de suministro? A grandes rasgos, se especializan en administrar la producción de bienes y servicios. Existen infinidad de empleos para quienes lo hacen bien, pues el éxito de largo plazo de toda organización depende del desempeño eficaz de esta actividad fundamental.

Servicio

Es interesante comparar los empleos, en cuanto al nivel de ingreso, de la administración de operaciones y suministro con los de marketing y finanzas. En muchos empleos de marketing el nivel de ingreso en realidad se concentra en vender productos o en administrar las ventas de los productos. Estas personas están en la primera línea, tratando de vender los productos a posibles clientes. Una parte importante de su ingreso con frecuencia depende de las comisiones sobre esas ventas. Los empleos de entrada para finanzas (y contabilidad) muchas veces están en grandes despachos de contadores públicos. Estos puestos suelen implicar mucho trabajo de escritorio con auditorías de transacciones para confirmar la exactitud de los estados financieros. Otras labores a menudo implican analizar las transacciones para comprender mejor los costos asociados del negocio.

Compare los empleos en marketing y finanzas con los de la administración de operaciones y suministro. El gerente de operaciones y suministro trabaja con la gente para encontrar la mejor manera de entregar los bienes y servicios de la empresa. Por supuesto que trabajan con la gente de marketing, pero en lugar de estar del lado de las ventas, se encuentran del lado de las compras, para elegir los mejores materiales y contratar a los mejores candidatos. Con los datos que genera el personal de finanzas y análisis de procesos se determina la mejor manera de hacer las cosas. Los empleos en la administración de las operaciones y suministro requieren participación, trabajar con otras personas y encontrar la mejor manera de hacer las cosas.

A continuación se presentan algunos puestos comunes de la administración de operaciones y suministro, en el nivel administrativo y de personal de apoyo:

- Gerente de planta. Supervisa a los trabajadores y los recursos materiales (inventario, equipo y tecnología de la información) para fabricar el producto de la empresa.
- Administrador de hospital. Supervisa el manejo de los recursos humanos, la contratación de personal y las finanzas de una instalación dedicada a los servicios médicos.
- Gerente de sucursal (banco). Supervisa todos los aspectos de las operaciones financieras de una sucursal.
- Gerente de tienda de departamentos. Supervisa todos los aspectos de la contratación de personal y del servicio al cliente en una tienda.
- Gerente de centro de atención telefónica. Supervisa la contratación de personal y las actividades del servicio a clientes.
- Gerente de cadena de suministro. Negocia contratos con vendedores y coordina el flujo de los materiales que ingresan al proceso de producción, así como el embarque de los productos terminados a los clientes.
- Gerente de compras. Administra los detalles cotidianos de las compras, como facturación y seguimiento.
- Analista de mejoras a los procesos del negocio. Aplica los instrumentos de la producción esbelta para reducir el tiempo del ciclo y eliminar los desperdicios en un proceso.
- Gerente de control de calidad. Aplica técnicas de control estadístico de calidad, como muestras de aceptación y gráficas de control de los productos de la empresa.

BIOGRAFÍA EN ASCENSO

TIMOTHY D. COOK, DIRECTOR GENERAL DE OPERACIONES DE APPLE

Timothy D. Cook es el director general de operaciones de Apple y depende directamente del CEO. Cook es el encargado de todas las ventas y operaciones de Apple en el mundo, entre otras, la administración de punta a punta de la cadena de suministro, las actividades de ventas y servicios, y el apoyo en todos los mercados y países. También encabeza la división Macintosh de Apple y desempeña un papel central en el desarrollo continuo de las relaciones estratégicas entre revendedores y proveedores, para garantizar respuestas flexibles ante mercados cada vez más exigentes.

Antes de trabajar en Apple, Cook fue vicepresidente de materiales corporativos de Compaq, donde era el responsable de adquirir y administrar todo el inventario de productos de Compaq. Antes de Compaq, Cook fue director general de operaciones de la división de revendedores de Intelligent Electronics.

Cook también trabajó 12 años en IBM, al final como director para el aseguramiento de Norteamérica, donde coordinó las funciones de manufactura y distribución de la Compañía de Computadoras Personales de IBM en Norteamérica y Latinoamérica. Cook obtuvo la maestría en administración en la Duke University, con una beca Fuqua, y una licenciatura en ciencias en ingeniería industrial en la Auburn University.

Fuente: http://www.apple.com/pr/bios/cook.html

- Gerente de mejoras de la producción esbelta. Capacita a los miembros de la organización en los métodos de la producción esbelta y las mejoras continuas.
- Gerente de proyecto. Planea y coordina las actividades del personal, como el desarrollo de nuevos productos y nueva tecnología, y la ubicación de nuevas instalaciones.
- Analista de control de producción. Planea y programa la producción diaria.
- Gerente de instalaciones. Garantiza que el diseño del edificio, la distribución, el mobiliario y demás equipamiento funcionen con la máxima eficiencia.

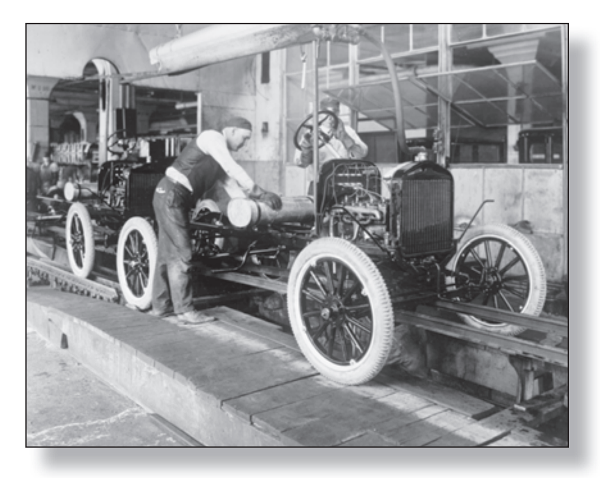
DIRECTOR GENERAL DE OPERACIONES

¿Hasta dónde se puede llegar con una carrera en administración de operaciones y suministro? Una meta sería llegar a director general de operaciones de una empresa. El COO (*chief operating officer*) trabaja con el CEO y el presidente de la compañía para determinar la estrategia competitiva. Las ideas del COO se filtran hacia abajo hasta llegar al resto de la empresa. Los COO determinan la ubicación de una organización, sus instalaciones, proveedores y la forma de aplicar la política de contratación. Una vez tomadas las decisiones básicas, el personal de operaciones de niveles más bajos las pone en práctica. El personal de operaciones busca las soluciones y a continuación se dedica a resolver el problema.

La administración de la cadena de suministro, los servicios y el apoyo son aspectos particularmente difíciles del puesto de director general de operaciones en compañías innovadoras como Apple. (Vea la biografía de Timothy D. Cook, de Apple.) Hoy en día existen infinidad de oportunidades para hacer carrera en la administración de operaciones y suministro porque las empresas se esfuerzan en aumentar su rentabilidad mediante la mejora de la calidad y la productividad, y la reducción de costos. La labor de la administración práctica del personal se combina con enormes oportunidades para aprovechar las tecnologías más recientes para obtener resultados en compañías de todo el mundo. Independientemente de la carrera que estudie, lo que conozca de administración de operaciones y suministro será un gran activo para usted.

Desarrollo histórico de la administración de operaciones y cadenas de suministro (AOCS)

Nuestro propósito en esta sección no es ver todos los detalles de la AOCS; esto haría necesario volver a relatar toda la Revolución industrial. En lugar de ello, el enfoque está en los conceptos principales relacionados con la AOCS populares desde la década de 1980. Cuando es apropiado, se estudia cómo una idea que se supone nueva se relaciona con una idea antigua. (Parece que seguimos redescubriendo el pasado.)



Producción esbelta. JIT y TQC En la década de 1980 se revolucionaron las filosofías de la administración y las tecnologías para la producción. La producción "justo a tiempo" (JIT, por sus siglas en inglés) fue el mayor avance en la filosofía de la manufactura.

El JIT, introducido por los japoneses, consiste en un conjunto integral de actividades que tiene por objeto producir grandes volúmenes con inventarios mínimos de partes que llegan a la estación de trabajo justo cuando se necesitan. Esta filosofía —aunada al control de la calidad total (TQC, por sus siglas en inglés), que opera activamente para eliminar las causas de los defectos en los productos— ahora es un pilar fundamental de las prácticas de producción de muchos fabricantes, y el término "producción esbelta" abarca este conjunto de conceptos.

Por supuesto, los japoneses no fueron los primeros en desarrollar un sistema de producción eficiente e integrado. En 1913, Henry Ford creó la línea de montaje para fabricar el automóvil Modelo-T. Ford creó un sistema para fabricar el Modelo-T que solo estaba limitado por la capacidad de los trabajadores y la tecnología existente. La calidad era un requisito fundamental para Ford. La línea no podía avanzar con velocidad constante si no tenía siempre buenos componentes. La entrega puntual también era fundamental para Ford; el deseo de mantener a los trabajadores y a las máquinas ocupados con un flujo constante de materiales otorgó a la programación un carácter fundamental. El producto, procesos, materiales, logística y personal estaban muy bien integrados y equilibrados en el diseño y operación de la planta.[1]

Paradigma de la estrategia de producción A finales de la década de 1970 y principios de la de 1980, investigadores de Harvard Business School crearon el paradigma de la estrategia de producción. El trabajo de los profesores William Abernathy, Kim Clark, Robert Hayes y Steven Wheelwright (a partir de los primeros esfuerzos de Wickham Skinner) giró en torno a la manera en que los ejecutivos de producción esgrimían las capacidades de sus fábricas como armas estratégicas contra la competencia. La noción del enfoque en la fábrica y los retos de la producción de manufacturas fue central en su razonamiento. Afirmaban que, como una fábrica no podía destacar en todas las medidas de su desempeño, su gerencia debería enfocarse en formular una estrategia para crear una fábrica enfocada que desempeñara un conjunto limitado de tareas extremadamente bien. Esto requería compensar un poco entre las mediciones de desempeño, como costos bajos, gran calidad y enorme flexibilidad a la hora de diseñar y administrar las fábricas. Al parecer, Ford se dio cuenta de esto unos 60 años antes que los profesores de Harvard.

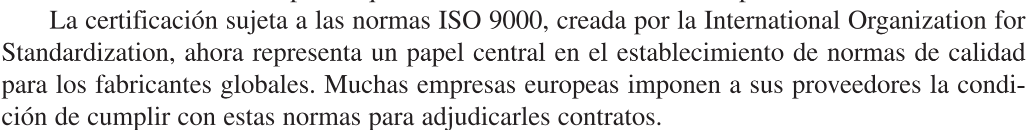
Productividad y calidad de servicios La enorme diversidad de las industrias de servicios, desde líneas aéreas hasta zoológicos, con muchas variantes entre ambas, impide señalar a un único pionero o creador que haya tenido grandes repercusiones en estas áreas. No obstante, el enfoque singular de McDonald's en productividad y calidad ha tenido tanto éxito que se yergue como punto de referencia en el esfuerzo para brindar servicios estandarizados en grandes volúmenes.

[1] Vea J. Wilson, "Henry Ford: A Just-in-Time Pioneer", *Production & Inventory Management Journal* 37, 1996, pp. 26-31.

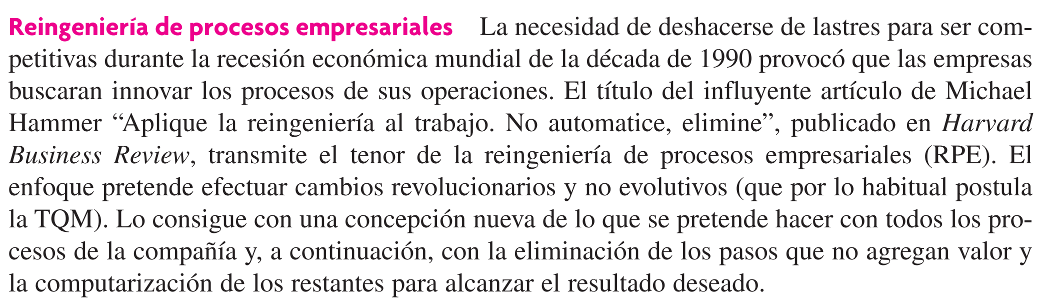
Servicio

Administración de calidad total y certificación de calidad Otro avance importante fue el enfoque en la administración por calidad total (TQM), de finales de la década de 1980 y principios de la de 1990. Todos los ejecutivos de operaciones conocen el mensaje de la calidad planteado por los llamados gurús de la calidad: W. Edwards Deming, Joseph M. Juran y Philip Crosby. Es interesante señalar que ellos fueron alumnos de Shewhart, Dodge y Romig en la década de 1930 (a veces debe pasar una generación para que las cosas funcionen). El Baldrige National Quality Award, que se empezó a entregar en 1987, tutelado por el National Institute of Standards and Technology, también contribuye al movimiento de la calidad. Cada año, esta institución da un reconocimiento a las empresas que tienen sistemas extraordinarios para administrar la calidad.

Global



La certificación sujeta a las normas ISO 9000, creada por la International Organization for Standardization, ahora representa un papel central en el establecimiento de normas de calidad para los fabricantes globales. Muchas empresas europeas imponen a sus proveedores la condición de cumplir con estas normas para adjudicarles contratos.



Reingeniería de procesos empresariales La necesidad de deshacerse de lastres para ser competitivas durante la recesión económica mundial de la década de 1990 provocó que las empresas buscaran innovar los procesos de sus operaciones. El título del influyente artículo de Michael Hammer "Aplique la reingeniería al trabajo. No automatice, elimine", publicado en *Harvard Business Review*, transmite el tenor de la reingeniería de procesos empresariales (RPE). El enfoque pretende efectuar cambios revolucionarios y no evolutivos (que por lo habitual postula la TQM). Lo consigue con una concepción nueva de lo que se pretende hacer con todos los procesos de la compañía y, a continuación, con la eliminación de los pasos que no agregan valor y la computarización de los restantes para alcanzar el resultado deseado.

De hecho, Hammer no fue el primer asesor que planteó eliminar los pasos que no agregan valor ni la reingeniería de procesos. A comienzos del siglo XX, Frederick W. Taylor planteó algunos principios de administración científica que aplicaban un análisis científico a efecto de que no se desperdiciaran esfuerzos del trabajo manual. Alrededor de esa época, Frank y Lillian Gilbreth analizaron, con la nueva tecnología de esos años (el cinematógrafo) diversos procedimientos, como albañilería y operaciones quirúrgicas. Muchas innovaciones creadas por este matrimonio, como el estudio de tiempos y movimientos, aún son muy populares hoy en día.

Calidad Six-Sigma Formulada primero en la década de 1980 como parte de la administración por calidad total, la calidad Six-Sigma registró una enorme expansión en la década de 1990, cuando se creó un amplio conjunto de instrumentos de diagnóstico. Muchas empresas enseñaron estos instrumentos a sus administradores como parte de los Green and Black Belt Programs (Programas de Cinta Negra y Cinta Verde). En la actualidad, los instrumentos no solo sirven para aplicaciones bien conocidas de la producción de manufactura, sino también para procesos no fabriles, como cuentas por cobrar, ventas, e investigación y desarrollo. Las empresas aplicaron el Six-Sigma a servicios ambientales, de salud y de seguridad, y ahora también lo aplican a procesos de investigación y desarrollo, finanzas, sistemas de información, asuntos legales, marketing, asuntos públicos y de recursos humanos.

Cadena de suministro

Administración de la cadena de suministro La idea central de la administración de la cadena de suministro es aplicar un enfoque de sistema integral a la administración del flujo de información, materiales y servicios provenientes de proveedores de materias primas mientras pasan por las fábricas y almacenes hasta llegar al consumidor final. Las tendencias recientes de subcontratación y **producción personalizada en masa** obligan a las empresas a encontrar vías flexibles para satisfacer la demanda de los clientes. El punto focal es optimizar las actividades centrales a efecto de maximizar la velocidad de respuesta ante los cambios de las expectativas de los clientes.

Producción personalizada en masa

Comercio electrónico La veloz adopción de internet y de la World Wide Web a finales de la década de 1990 fue asombrosa. El término *comercio electrónico* se refiere a la utilización de internet como elemento esencial para actividades de negocios. Internet se deriva de una red del gobierno llamada ARPANET, la cual creó en 1969 el Departamento de la Defensa del gobierno de Estados Unidos. El uso de páginas web, formas y motores de búsqueda interactivos transformaron la manera en que las personas recaban información, compran y se comunican. Cambió la forma en que los gerentes de operaciones coordinan y desempeñan las funciones de producción y distribución.

Servicio

La ciencia de los servicios Una respuesta directa al crecimiento de los servicios es la creación de un importante programa industrial y académico llamado Service Science Management and Engineering (SSME), el cual pretende aplicar los conceptos más recientes de la tecnología de la información para seguir mejorando la productividad de los servicios de las organizaciones basadas en tecnología. Una interesante pregunta que formuló Jim Spohrer, líder del equipo de IBM que inició esta actividad, es ¿adónde irán los trabajadores cuando mejore la productividad del sector de los servicios? "La respuesta breve es a las nuevas industrias y empresas del sector de los servicios. Recuerde que el sector de los servicios es muy diverso y cada día lo será más. Piense en el crecimiento de los servicios de negocios minoristas (franquicias, comercio electrónico, Amazon, eBay), de comunicación (teléfonos, celulares, Skype), de transporte (líneas aéreas, FedEx), de finanzas (agentes electrónicos de descuento, Schwab), así como de información (televisión, CNN, Google). Sin mencionar todos los nuevos servicios en los países en desarrollo del mundo. La capacidad creativa del sector de los servicios para crear nuevas industrias y negocios casi no ha sido explotada".[2]

Temas de actualidad en la administración de operaciones y cadenas de suministro (AOCS)

Cadena de suministro

La administración de operaciones y suministro es un campo dinámico, y los desafíos de la empresa global presentan temas nuevos y emocionantes a los gerentes de operaciones. Con vista al futuro se piensa que los retos principales del campo serán:

1. **Coordinar las relaciones entre organizaciones separadas pero que se apoyan en forma recíproca.** En fecha reciente se registró una explosión de subcontratación de partes y servicios que antes se producían de manera interna propiciada por la oferta de comunicaciones expeditas y baratas. Ahora hay todo un nuevo género de *fabricantes por contrato* que se especializan en desempeñar actividades de producción enfocadas. El éxito de este tipo de subcontratación tradicional orilla a las empresas a considerar la posibilidad de subcontratar otras funciones importantes, como sistemas de información, desarrollo y diseño de productos, servicios de ingeniería, empacado, pruebas y distribución. La capacidad para coordinar estas actividades es un reto importante para el gerente de operaciones del futuro.
2. **Optimizar las redes globales de proveedores, producción y distribución.** La aplicación de sistemas globales de planeación de recursos, ahora comunes en las grandes empresas, representa un reto para los administradores que deben utilizar toda esta información, lo cual requiere una cuidadosa consideración, entre otros temas, de cuándo se debe centralizar el control y cuándo es importante la autonomía. Las compañías apenas empiezan a aprovechar de verdad la información de estos sistemas para tener un control óptimo de recursos como inventarios, transporte y equipo de producción.

Global

3. **Administrar los puntos de contacto con los clientes.** A medida que las compañías se esfuerzan por ser muy eficientes, con frecuencia tratan de ahorrar dinero en el personal de apoyo al cliente (y su capacitación) necesario para la operación eficaz de los departamentos de servicios, teléfonos de soporte y cajas de salida. Esto genera frustraciones que todos hemos experimentado, como quedar en el limbo de un centro de atención telefónica durante un tiempo que nos parece eterno, recibir malos consejos cuando por fin interactuamos con un representante de la compañía, etc. En este caso, el punto es reconocer que, cuando se toman decisiones para asignar recursos, se deben captar los costos implícitos de la pérdida de clientes así como los costos directos de contratar personal.
4. **Concientizar a la alta gerencia de que la administración de operaciones y cadena de suministro son un arma competitiva muy importante.** Como ya se mencionó, muchos altos ejecutivos entraron a la organización por la ruta de las finanzas, la estrategia o el mar-

[2] Jim Spohrer, "Service Science, Management, and Engineering (SSME): A Next Frontier in Education, Employment, Innovation, and Economic Growth", IBM India, teleconferencia con India desde Santa Clara, California, diciembre de 2006.

keting y crearon su fama en esas áreas, y, por lo mismo, suelen dejar de lado las operaciones. Como se demostrará en este libro, esto es un gran error en vista de algunas empresas muy rentables, como Toyota, Dell, Taco Bell y Southwest Airlines. En estas compañías, los ejecutivos aprovecharon la administración de operaciones en forma creativa para crear una ventaja competitiva.

5. **Sustentabilidad y el triple objetivo.** **Sustentabilidad** es la capacidad de mantener el equilibrio en un sistema. La administración debe ahora considerar los mandatos relacionados con la actual viabilidad económica, laboral y ambiental de la empresa (**triple objetivo**). En lo económico, debe ser redituable. Son esenciales la seguridad de trabajo de los empleados, las condiciones de trabajo positivas y las oportunidades de desarrollo. Los productos y los procesos no contaminantes y que no agoten recursos presentan nuevos desafíos para gerentes de operaciones y de suministros.

Sustentabilidad

Triple objetivo

Conceptos clave

Administración de operaciones y cadenas de suministro (AOCS) Diseño, operación y mejoría de los sistemas que crean y entregan los productos y servicios primarios de una empresa.

Actividades de servicios Son actividades de servicio para apoyar las ofertas de productos de una compañía.

Eficiencia Hacer algo con el costo más bajo posible.

Eficacia Hacer lo correcto para crear el mayor valor posible para la empresa.

Valor Razón entre calidad y precio pagado. La "felicidad" competitiva es incrementar la calidad y reducir el precio al mismo tiempo que se conservan o aumentan los márgenes de utilidad. (De esta manera, las operaciones incrementan directamente la retención de clientes y generan una mejor participación de mercado.)

Producción personalizada en masa Fabricar productos por pedido, en lotes de una unidad.

Sustentabilidad Capacidad para mantener el equilibrio en un sistema.

Triple objetivo Se relaciona con los impactos económico, laboral y ambiental de la estrategia de la empresa.

Preguntas de repaso y análisis

1. Vea las ofertas de empleo en *The Wall Street Journal* y evalúe las oportunidades para un experto en AOCS con varios años de experiencia.
2. ¿Qué factores explican la nueva aparición de interés en la AOCS de hoy en día?
3. Con la ilustración 1.3 como modelo, describa las relaciones entre fuente, manufactura, entrega y devolución en los siguientes sistemas:
   a) Una línea aérea.
   b) Un fabricante de automóviles.
   c) Un hospital.
   d) Una compañía de seguros.

Ejercicio de enriquecimiento en internet: Motocicletas Harley-Davidson

Harley-Davidson creó un sitio web que permite a compradores potenciales personalizar sus motocicletas nuevas. A partir de un modelo "básico", el cliente escoge entre varias bolsas, tapas cromadas, esquemas de colores, escapes, controles de pedal, espejos y otros accesorios. La aplicación basada en la web funciona de modo que el cliente no solo seleccione de la extensa lista de accesorios, sino también vea exactamente cómo se verá su motocicleta. Estos diseños especiales se pueden compartir con amigos y familia para imprimir la imagen final o enviarla por correo electrónico. ¡Qué forma tan hábil de vender motocicletas!

Consulte la página web de Harley-Davidson (HD) (*www.Harley-Davidson.com*). De ahí seleccione "Parts & Apparel" y "Genuine Motor Accesories", y a continuación seleccione "The Customizer". Esto lo lleva a la aplicación.

1. ¿Cuántas configuraciones de motocicleta cree que son posibles? ¿Cada cliente podría tener una motocicleta diferente? Para simplificar un poco, ¿qué pasaría si Harley-Davidson tuviera solo dos tipos de

motocicletas, tres opciones de manubrios, cuatro combinaciones de bolsas para el sillín y dos opciones de tubo de escape? ¿Cuántas combinaciones son posibles en este caso (suponga que se necesita seleccionar un artículo de cada conjunto de opciones)?

2. Para mantener sencillas las cosas, Harley-Davison hace que el distribuidor instale prácticamente todas estas opciones. ¿Qué tendría que considerarse si HD instalara estas opciones en la fábrica en lugar de hacer que los distribuidores las instalasen?
3. ¿Cuál es la importancia de esta fabricación especial para la estrategia de marketing de HD? Describa brevemente la estrategia de operaciones y suministros de Harley-Davidson.

CASO: Atracón de comida rápida

Acuda al menos a dos restaurantes de comida rápida que vendan hamburguesas. Por ejemplo, en Estados Unidos, McDonald's, Wendy's y Burger King son buenas opciones. A quienes les guste la comida chatarra no tendrán problema para hacerlo, pero los vegetarianos tal vez tengan que llevar a un amigo que pruebe el producto. Observe las diferencias básicas de las operaciones de estos establecimientos. Fíjese en las diferencias entre los procesos siguientes:

Preguntas

1. ¿Cómo se toman las órdenes dentro del establecimiento?
2. ¿Las hamburguesas se preparan después de que entra la orden o están ya preparadas y el personal las toma de una canastilla para entregarlas?
3. ¿Cómo se manejan las órdenes especiales?
4. ¿Cómo se cocinan las hamburguesas?
5. ¿Cómo se preparan las hamburguesas?
6. ¿Se usa un horno de microondas en el proceso?
7. ¿Cómo se manejan otros productos, como las papas a la francesa y las bebidas?

Cuestionario

1. Movimiento parecido al de un conducto de materiales e información necesarios para producir un bien o servicio.
2. Estrategia que satisface las necesidades de accionistas y empleados, y además conserva el ambiente.
3. Procesos necesarios para determinar el conjunto de futuras acciones mediante las cuales operar una cadena de suministros existente.
4. Selección de proveedores.
5. Tipo de proceso con el cual se elabora el producto principal o se proporciona un servicio.
6. Tipo de proceso que desplaza productos a almacenes o clientes.
7. Procesos que comprenden la recepción de productos desgastados, defectuosos y excedentes devueltos por clientes y que apoyan a los clientes que tienen problemas.
8. Negocio donde el producto principal es intangible, de modo que no se puede pesar ni medir.
9. Cuando una compañía realiza actividades de servicio en sus ofertas de productos.
10. Significa hacer algo con el costo más bajo posible.
11. Significa hacer lo correcto para crear el mayor valor para la empresa.
12. Se define metafóricamente como calidad dividida entre precio.
13. Filosofía que activamente pretende eliminar causas de defectos en la producción.
14. Método que busca hacer cambios revolucionarios, no evolucionarios (en favor de los cuales está la administración de calidad total).
15. Método que combina la TQM (calidad total) y el JIT (justo a tiempo).
16. Herramientas que se enseñan a gerentes en "Programas de banda verde y negra".
17. Programa para aplicar los conceptos más recientes en tecnología de información para mejorar la productividad de los servicios.

1. Red (cadena) de suministro 2. Estrategia de triple objetivo 3. Planificación 4. Abastecimiento 5. Manufactura 6. Entrega 7. Devolución 8. Servicio 9. Actividades de servicio 10. Eficiencia 11. Eficacia 12. Valor 13. Control de calidad total 14. Reingeniería de procesos empresariales 15. Manufactura esbelta 16. Calidad de Six-Sigma 17. Administración e ingeniería de la ciencia de servicio.

Bibliografía seleccionada

APICS, The Association for Operations Management. www.APICS.org

Journal of Operations Management, Washington, D.C., American Production and Inventory Control Society, 1980-a la fecha.

Manufacturing & Service Operations Management: M&SOM, Linthicum, Maryland, Institute for Operations Research and the Management Sciences, 1999-a la fecha.

Production and Operations Management: An International Journal of the Production and Operations Management Society/POMS, Baltimore, Production and Operations Management Society, 1992-a la fecha.

Production and Operations Management Society, www.poms.org

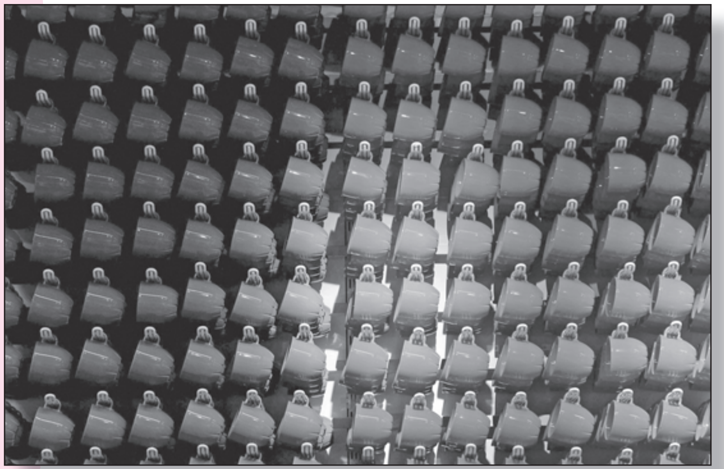
Capítulo 2

ESTRATEGIA Y SUSTENTABILIDAD

Cómo diseña IKEA sus atractivos precios

Una estrategia competitiva consiste en ser distinto. Quiere decir que deliberadamente se escoge un conjunto diferente de actividades para obtener una mezcla única de valor. IKEA, el minorista sueco de productos para el hogar, domina mercados en 43 países y está listo para conquistar Norteamérica.

Por encima de todo lo demás, el factor que explica el éxito de IKEA es ofrecer buena calidad con precios bajos. IKEA vende artículos para el hogar baratos pero no baratijas mediocres. Sus precios por lo general son de 30 a 50% menores que los de la competencia. Mientras el precio de los productos de otras empresas tiende a subir con el tiempo, IKEA afirma que redujo sus precios de venta al por menor en un total de alrededor de 20% durante los últimos cuatro años. En IKEA, el proceso de bajar costos empieza en el momento en que se concibe un nuevo artículo y continúa implacablemente durante toda la vida del producto.



En IKEA siempre hay tazas para café a 50 centavos. Antes de la nueva taza TROFÉ, la empresa ofrecía la taza "Bang", que se había rediseñado tres veces para maximizar el número de tazas que podían almacenarse en una plataforma de carga. Al principio solo cabían 864 tazas. Un rediseño agregaba un borde como el de una maceta, de modo que la tarima albergaba hasta 1 280 tazas. Otro rediseño creó una taza más corta con una nueva asa, lo que permitió poner 2 024 tazas en una tarima. Estos cambios redujeron los costos de envío 60%.

La última versión de una taza para café de 50 centavos aumentó más su utilidad con una simple muesca en el fondo, que evita que el agua se acumule alrededor de la base durante el lavado en máquina. Otros refinamientos optimizaron la rapidez con la cual la taza pasa por las máquinas que las forman y posibilitaron que IKEA acomode el máximo número de ellas en los hornos, con lo que ahorra en el costoso proceso de cocción. Unos sencillos cambios en la forma de la taza redujeron de modo considerable el costo de producirla, al mismo tiempo que crean más valor para clientes que compran esta sencilla taza de café de 50 centavos.

Después de leer este capítulo, usted:

1. Comparará la relación entre la estrategia de operaciones y cadena de suministro con marketing y finanzas.
2. Entenderá las dimensiones competitivas de la estrategia de operaciones y cadena de suministro.
3. Identificará a ganadores de pedidos y calificadores de pedidos.
4. Entenderá el concepto de ajuste estratégico.
5. Describirá cómo se mide la productividad y cómo se relaciona con los procesos de operaciones y cadena de suministro.
6. Explicará la forma en que los mercados financieros evalúan el desempeño de las operaciones y cadena de suministro de una empresa.

Esta es la esencia de la administración de operaciones de una cadena de suministro: crear gran valor al cliente al tiempo que se reduce el costo de entrega del artículo o servicio.

Una estrategia sustentable

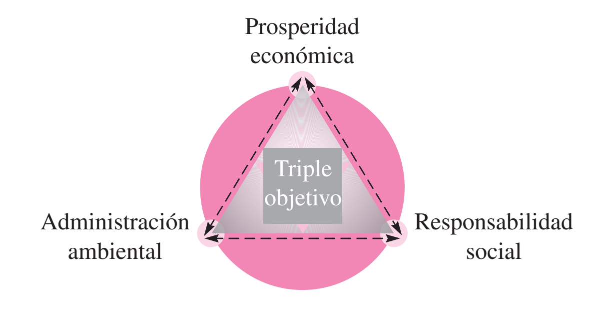
La estrategia debe describir cómo se pretende crear y sostener valor para los accionistas. Al agregar "sustentabilidad" al concepto, incluimos el requisito de satisfacer estas necesidades actuales sin comprometer la capacidad de futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades. Los *accionistas* son las personas o empresas que legalmente poseen una o más acciones de la empresa. Numerosas compañías hoy en día ampliaron el ámbito de su estrategia para incluir a los accionistas. Las *partes interesadas* son las personas u organizaciones sometidas a la influencia directa o indirecta de las actividades de la empresa. Esta vista ampliada significa que el campo de la estrategia no solo debe enfocarse en la viabilidad económica de sus accionistas, sino también debe considerar el ambiente y el impacto social en las partes interesadas.

Triple objetivo

Para captar esta vista ampliada se acuñó el término **triple objetivo**.[1] El triple objetivo, ilustración 2.1, considera la evaluación de la empresa respecto de criterios sociales, económicos y ambientales. Muchas compañías crearon esta vista ampliada por medio de objetivos que relacionan la sustentabilidad en cada una de estas dimensiones. Otras frases para este concepto son: "personas, planeta y utilidad", de Shell Oil Company, y "pueblo, trabajo y lugar", que se originó con Patrick Geddes, escritor del siglo XX. Lo siguiente amplía el significado de cada dimensión del marco del triple objetivo.

- **Criterios sociales.** Son propios de prácticas financieras justas y benéficas, así como de la región en la que la empresa desarrolla sus actividades. Una compañía con triple objetivo pretende beneficiar a sus empleados, a la comunidad y a otras entidades sociales sometidas al impacto de su existencia. Una empresa no debe utilizar mano de obra infantil, sino pagar salarios justos a sus trabajadores y mantener un ambiente laboral seguro con horas de trabajo flexibles o tolerables, y de ninguna manera explotar una comunidad o a su fuerza laboral. Una empresa también puede ser benéfica cuando contribuye a la fuerza y crecimiento de su comunidad mediante programas de servicio médico, educación y otros programas especiales.
- **Criterios económicos.** La firma está obligada a compensar a accionistas, que dan capital a través de la compra de acciones y otros instrumentos financieros, mediante una rentabilidad competitiva sobre la inversión. Las estrategias de la empresa deben promover el crecimiento y hacer crecer el valor de largo plazo para este grupo en forma de utilidades. Dentro de un marco de sustentabilidad, esta dimensión va más allá de solamente dar utilidades, también da beneficios económicos duraderos a la sociedad.
- **Criterios ambientales.** Esto se refiere al impacto de la empresa sobre el ambiente. Se debe proteger el ambiente cuanto sea posible, o al menos no causarle daños. Los gerentes deben actuar para reducir el daño ecológico al administrar con cuidado su consumo de recursos naturales y reducir desechos, así como asegurar que estos sean menos tóxicos antes de eliminarlos de manera segura y legal. Muchas empresas ahora evalúan "de principio a fin" sus productos para determinar los verdaderos costos ambientales, desde el procesamiento de materias primas hasta la manufactura y distribución, así como la eliminación definitiva a cargo del cliente final.

ILUSTRACIÓN 2.1
Triple objetivo.



La estrategia convencional se centra en la parte económica de este marco. Como muchos de los procesos propios de la administración de operaciones y cadena de suministro tienen impacto social y ambiental, es importante considerar también estos criterios. Algunos proponentes afirman que, en muchas formas, los países de la Unión Europea están más avanzados debido a la información estandarizada de pérdidas ecológicas y sociales que propició la adopción del euro.

[1] J. Elkington, "Toward the Sustainable Corporation: Win-Win-Win Business Strategies for Sustainable Development", *California Management Review* 36, núm. 2, 1994, pp. 90-100.

Aunque innumerables planificadores de empresas están de acuerdo con las metas de mejorar la sociedad y preservar el ambiente, muchos otros difieren. Las opiniones en contra se relacionan con la potencial pérdida de eficiencia debido a la concentración de criterios en conflicto. Otros alegan que estas metas pueden ser apropiadas para sociedades ricas que pueden darse el lujo de contribuir con la sociedad y el ambiente. Una empresa en una sociedad o país pobre o en desarrollo debe concentrarse en su supervivencia. El beneficio económico derivado del uso de abundantes recursos locales puede verse como equivalente a su propia destrucción.

En este capítulo tomamos un enfoque centrado en el cliente; los problemas asociados a personas y ambiente se tratan de manera individual. Según el país, industria y ambiente de la empresa, estos últimos problemas varían en gran medida, y por tanto no son adecuados para un análisis general. Sin embargo, estos problemas y su relación con la administración de operaciones y cadena de suministro son muy reales, y anticipamos que cobrarán mayor importancia en el futuro.

Estrategia de operaciones y cadena de suministro

Estrategia de operaciones y cadena de suministro

La **estrategia de operaciones y cadena de suministro** se ocupa de establecer las políticas y planes generales para utilizar los recursos de una empresa, y debe estar integrada a la estrategia corporativa. Así, por ejemplo, si la estrategia corporativa de alto nivel incluye objetivos relacionados con responsabilidades sociales y el ambiente, entonces la estrategia de operaciones y cadena de suministro debe considerarlo. Un enfoque importante de la estrategia de operaciones y cadena de suministro es la eficacia de las operaciones. La *eficacia de las operaciones* se relaciona con los procesos financieros esenciales para que opere la empresa. Los procesos abarcan todas las funciones, desde tomar pedidos de clientes, devoluciones, manufactura y administrar la actualización de la página web hasta enviar productos a su destino. La eficacia operacional se refleja directamente en los costos asociados a la rentabilidad. Las estrategias que tienen que ver con la eficacia de las operaciones, por ejemplo, iniciativas de control y garantía de calidad, rediseño de procesos, sistemas de planeación y control, e inversiones en tecnología, presentan resultados rápidos y de corto plazo (12 a 24 meses).

La estrategia de operaciones y cadena de suministro se considera parte de un proceso de planeación que coordina metas operacionales con las de la empresa en su conjunto. Como las metas de esta última cambian con el tiempo, la estrategia de operaciones debe diseñarse para anticipar necesidades futuras. La capacidad de las operaciones y la cadena de suministro se pueden ver como una cartera de valores muy adaptable a las cambiantes necesidades del producto y/o servicio para los clientes.

La estrategia de planeación es un proceso igual al de la elaboración de un producto o la venta de un servicio. El proceso implica un conjunto de actividades que se repiten en intervalos diferentes. Así como se hacen productos una y otra vez, así se repiten las actividades de planeación de estrategia. Una gran diferencia es que estas actividades se realizan por ejecutivos en la sala del consejo.

La ilustración 2.2 muestra las actividades principales de un proceso habitual de planeación estratégica. La actividad 1 se realiza al menos una vez al año, y en ella se desarrolla la estrategia general. Una parte esencial de este paso es el "análisis estratégico", que comprende apreciar y pronosticar las condiciones futuras de negocios que impactan a la estrategia de la empresa. Aquí se consideran, por ejemplo, los cambios en las preferencias de clientes, el impacto de nuevas tecnologías, los cambios demográficos y la anticipación de nuevos competidores. En respuesta, una estrategia exitosa anticipará cambios y formulará nuevas iniciativas. Las *iniciativas* son los pasos principales para llevar al éxito a la empresa. Muchas iniciativas se repiten año con año, como actualizar diseños de productos y operar plantas manufactureras en diferentes regiones del mundo. Las nuevas iniciativas que en forma novedosa o moderna responden a la dinámica del mercado son muy importantes. Las iniciativas que perfeccionan productos innovadores o abren

ILUSTRACIÓN 2.2
Proceso de estrategia de lazo cerrado.

1. Desarrollar/afinar la estrategia (anual)
   - Definir visión, misión y objetivos
   - Efectuar un análisis estratégico
   - Definir iniciativas estratégicas

2. Traducir la estrategia (trimestral)
   - Definir/revisar iniciativas
   - Definir/revisar presupuestos
   - Definir/revisar medidas y metas

3. Planear operaciones y suministros (mensual)
   - Elaborar plan de ventas y operaciones
   - Planear capacidad de recursos
   - Evaluar presupuestos

nuevos mercados, por ejemplo, permitirán un futuro crecimiento de ingresos. Otras iniciativas que reducen costos afectan directamente la rentabilidad. Las empresas con estrategias de triple objetivo pueden tener iniciativas que reduzcan el desperdicio o aumenten el bienestar de las comunidades locales.

La actividad 2 de la ilustración 2.2 es en la que se refina y actualiza la estrategia general con una frecuencia de hasta cuatro veces al año. Aquí se evalúa cada iniciativa y se crean estimados presupuestales apropiados para el siguiente año, o un plazo mayor. Se necesitan medidas relacionadas con la operación de cada iniciativa de modo que el éxito o fracaso se midan en forma objetiva y no sesgada. Debido a la naturaleza tan lábil de los negocios globales, muchas empresas deben revisar sus planes varias veces al año.

La actividad de planeación de operaciones y cadena de suministros, que se muestra en la tercera sección, es donde se coordinan los planes operacionales propios de campos funcionales como marketing, manufactura, almacenamiento, transporte y compras desde seis meses hasta año y medio. Los campos funcionales que intervienen en la coordinación varían en gran medida, conforme a las necesidades de la empresa. Un hospital requiere coordinación en los quirófanos, unidades de terapia intensiva y unidades auxiliares, como radiación y quimioterapia. Del mismo modo, la coordinación para una tienda de ventas al menudeo como Walmart puede ser muy diferente en comparación con un fabricante de automóviles como Ford. Estos esfuerzos de coordinación se concentran sobre todo en ajustar la capacidad y disponibilidad de recursos con base en situaciones de demanda anticipada.

En la siguiente sección nos enfocamos en la integración de las estrategias de operaciones y cadena de suministro con las capacidades de operaciones de la empresa. Esto comprende tomar decisiones referentes al diseño de procesos y la infraestructura necesaria para apoyarlos. El diseño del proceso incluye seleccionar la tecnología apropiada, medir el proceso en el tiempo, determinar el papel del inventario en el proceso y ubicar el proceso. Entre las decisiones de infraestructura se encuentra la lógica de los sistemas de planeación y control, métodos de aseguramiento y control de calidad, estructura de pago por el trabajo, y organización de las funciones de operaciones y cadena de suministro. Puede pensarse en las capacidades de operaciones de una empresa como una cartera de valores adaptable a las cambiantes necesidades del producto y/o servicio para los clientes.

Dimensiones competitivas

Dadas las opciones actuales de los clientes, ¿cómo deciden cuál producto o servicio comprarán? Diferentes atributos atraen a distintos clientes. Algunos clientes se fijan sobre todo en el costo de un producto o servicio y, en consecuencia, algunas empresas tratan de promoverse con precios más bajos. Entre las principales dimensiones que establecen la posición competitiva de la empresa se encuentran las siguientes.

Costo o precio: "Fabricar el producto o brindar el servicio con un precio barato" En toda industria suele haber un segmento del mercado que compra exclusivamente en razón de un costo bajo. Para competir con éxito en este nicho, la empresa debe ser un productor con costos bajos, aunque esto no siempre garantice rentabilidad ni éxito. Los productos y los servicios que se venden estrictamente en razón del costo suelen ser mercancías generales; es decir, los clientes no distinguen entre el producto o servicio de una empresa y los de otra. Este segmento del mercado con frecuencia es muy grande, y el potencial de una utilidad sustantiva atrae a muchas empresas porque lo asocian a grandes volúmenes de unidades. Sin embargo, por lo mismo, en este segmento hay una competencia feroz, y también un elevado índice de fracasos. A final de cuentas, solo puede haber un único productor con costos bajos, el que por lo general determina el precio de venta en el mercado.

Sin embargo, el precio no es el único elemento con que una empresa compite. Otras compañías, como BMW, atraen a quienes desean *mayor calidad* —en términos de desempeño, presencia o características— que la que ofrecen productos y servicios de la competencia, a pesar de cobrar un precio más elevado.

Calidad: "Fabricar un producto excelente o brindar un servicio excelente" Dos características de un producto o servicio definen la calidad: diseño y proceso. La calidad del diseño tiene que ver con el conjunto de características que contiene el producto o servicio. Esto se relaciona directamente con el diseño del producto o servicio. Es evidente que la calidad de la primera bicicleta de un niño es muy diferente de la de un ciclista de categoría mundial. Las aleaciones especiales de aluminio y las cadenas y engranajes ligeros especiales es importante para el desempeño que requiere un ciclista avanzado. Estos dos tipos de bicicleta se diseñan para satisfacer necesidades diferentes de los clientes. El producto de mayor calidad para el ciclista tiene un precio más elevado en el mercado en razón de sus características especiales. La meta de establecer el grado correcto de calidad del diseño es concentrarse en los requerimientos del cliente. Los clientes considerarán que los productos con un diseño excesivo y los servicios con características inapropiadas y en demasía son prohibitivamente caros. Por otro lado, los productos y servicios con muy poco trabajo de diseño perderán clientes ante los que cuestan un poco más pero que se perciben como productos que ofrecen más valor.

La calidad del proceso, segunda característica de la calidad, resulta crítica porque se relaciona directamente con la confiabilidad del producto o servicio. No importa si el producto es la primera bicicleta de un niño o la de un ciclista internacional, los clientes quieren productos sin defectos. Por tanto, la meta de la calidad del proceso es producir bienes y servicios sin defectos. Las especificaciones de los productos y servicios, proporcionadas en índices de tolerancia de las dimensiones y/o errores en los servicios, definen cómo producir el bien o el servicio. El cumplimiento de estas especificaciones es fundamental para garantizar la confiabilidad del producto o servicio conforme la define su uso.

Velocidad de la entrega: "Fabricar el producto o brindar el servicio con rapidez" En algunos mercados es fundamental la capacidad de la empresa para entregar su producto con mayor rapidez que sus competidores. La que sea capaz de ofrecer un servicio de reparación en sus instalaciones en solo 1 o 2 horas tendrá una ventaja significativa frente a una empresa competidora que garantice el servicio en 24 horas.

Confiabilidad de entrega: "Entregar conforme a lo prometido" Esta dimensión se refiere a la capacidad de la empresa de suministrar el producto o servicio en la fecha de entrega prometida o antes. En el caso de un fabricante de automóviles es muy importante que el proveedor de neumáticos entregue la cantidad y los tipos que se necesitan para la producción diaria de autos. Si un automóvil llega al punto de la línea de montaje donde se instalan los neumáticos y los que necesita ese automóvil en particular no están disponibles, tal vez sea necesario detener toda la línea de montaje hasta que lleguen. Para una empresa de servicios como Federal Express, la confiabilidad de las entregas es el fundamento de su estrategia.

Servicio

Afrontar los cambios de la demanda: "Alterar el volumen" En muchos mercados, la capacidad de la empresa para responder ante incrementos o decrementos de la demanda es muy importante para su capacidad competitiva. Es bien sabido que una compañía que afronta un incremento de demanda suele hacer mal algunas cosas. Cuando la demanda es fuerte y se incrementa, los costos disminuyen en forma continua en razón de las economías de escala, y no es difícil justificar las inversiones en nuevas tecnologías. Pero cuando la demanda disminuye, la reducción puede requerir muchas decisiones difíciles, como despedir personal y reducir otros activos. La capacidad para manejar debidamente la demanda dinámica del mercado de largo plazo es un elemento esencial de la estrategia de operaciones.

Flexibilidad y velocidad para introducir nuevos productos: "Cámbielo" La flexibilidad, desde una perspectiva estratégica, se refiere a la capacidad de la empresa para ofrecer una amplia variedad de productos a sus clientes. Un elemento muy importante de la capacidad para ofrecer diferentes productos es el tiempo necesario para desarrollar un nuevo producto y transformar sus procesos a efecto de ofrecer el nuevo producto.

Servicio

Otros criterios específicos del producto: "Apóyelo" Las dimensiones competitivas descritas son, sin lugar a dudas, las más comunes. No obstante, con frecuencia otras dimensiones se refieren a productos o situaciones específicos. Observe que la mayor parte de las siguientes dimensiones se refiere a los servicios. Los servicios especiales muchas veces se brindan para aumentar las ventas de productos manufacturados.

1. **Enlace y apoyo técnico.** Cabe esperar que un proveedor proporcione ayuda técnica para el desarrollo de un producto, en especial durante las primeras etapas del diseño y la fabricación.
2. **Cumplimiento de la fecha de lanzamiento.** Tal vez se requiera que una empresa se coordine con otras para un proyecto complejo. En tal caso, la fabricación puede ocurrir mientras aún no termina el trabajo de desarrollo. La coordinación del trabajo de varias empresas y el trabajar en forma simultánea en un proyecto disminuye el tiempo total requerido para terminarlo.
3. **Apoyo posventa del proveedor.** Una dimensión competitiva importante puede ser la capacidad de la empresa para apoyar su producto después de la venta. Esto implica la disponibilidad de refacciones y, tal vez, la modificación de productos ya existentes para que alcancen nuevos niveles de desempeño. La velocidad de respuesta a estas necesidades después de la venta es también importante.
4. **Impacto ambiental.** Dimensión relacionada con criterios como emisiones de dióxido de carbono, recursos no renovables u otros factores relacionados con la sustentabilidad.
5. **Otras dimensiones.** Por lo general, algunas incluyen factores como colores disponibles, tamaño, peso, ubicación de la fábrica, posibilidad de fabricar a la medida y opciones de mezclas del producto.

LA NOCIÓN DE LOS COMPROMISOS

Dentro del concepto de la estrategia de operaciones y suministro, la noción del enfoque y los compromisos de las operaciones resulta central. La razón primordial es que las operaciones no pueden ser sobresalientes al mismo tiempo en todas las dimensiones de la competencia. Por tanto, la gerencia debe determinar los parámetros de desempeño fundamentales para el éxito de la empresa y, a continuación, debe concentrar sus recursos en esas características particulares.

Por ejemplo, si una compañía desea concentrarse en la rapidez de entrega, no puede ser muy flexible en su capacidad para ofrecer una amplia variedad de productos. Por otro lado, una estrategia de bajo costo no es compatible con la rapidez de entrega ni la flexibilidad. Asimismo, se considera que se debe sacrificar la alta calidad para lograr costos bajos.

Una posición estratégica no se sostiene si no se llega a un acuerdo con otras posiciones. Se compromete algo cuando las actividades son incompatibles, pues la posibilidad de tener más de algo necesariamente implica tener menos de otra cosa. Una línea aérea puede optar por servir alimentos, lo cual eleva el costo y disminuye el tiempo restante para abordar, o puede optar por no hacerlo, pero no puede hacer las dos cosas sin sufrir ineficiencias importantes.

Ambigüedad

Hay **ambigüedad** cuando una empresa pretende obtener los beneficios de una posición exitosa y al mismo tiempo mantener su posición existente. Añade nuevas características, servicios o tecnologías a las actividades que desempeña. El fallido intento de Continental Airlines cuando quiso competir con Southwest Airlines demuestra los grandes riesgos de esta estrategia. Continental, con la intención de conservar su posición como línea aérea con todos los servicios, se propuso igualar a Southwest en una serie de rutas con un nuevo servicio que llamó Continental Lite. Eliminó las comidas y el servicio de primera clase, incrementó la frecuencia de las salidas, bajó las tarifas y redujo el tiempo para abordar. Como en otras rutas, Continental mantuvo su ofrecimiento de todos los servicios, también retuvo a los agentes de viajes y su flotilla mixta de aviones, así como el registro de equipaje y asientos asignados.

Servicio

Al final, los compromisos vararon a Continental Lite. La línea aérea perdió cientos de millones de dólares y el director general ejecutivo, su empleo. Sus aviones salían con demora de las ciudades con aeropuertos eje congestionados o se retrasaban en las salas de transferencia de equipaje. Las demoras de las salidas y las cancelaciones de vuelos generaban miles de quejas al día. Continental Lite no tenía capacidad para competir en precio y además pagar comisiones a los agentes de viajes estándar, pero tampoco se podía deshacer de ellos para su parte del negocio que ofrecía todos los servicios. La línea aérea sacrificó las comisiones correspondientes a todos sus vuelos. Del mismo modo, tampoco tenía capacidad para ofrecer los mismos beneficios de viajero frecuente a quienes pagaban precios mucho más bajos por los boletos del servicio Lite. En este caso sacrificó también los premios de todo su programa de viajero frecuente. El resultado: agentes de viajes y clientes del servicio normal muy molestos. Continental trató de competir nadando en dos aguas al mismo tiempo y pagó un enorme precio por su posición ambigua.

Ganadores y calificadores de pedidos: eslabón entre marketing y operaciones

La empresa que quiera comprender sus mercados desde la óptica de las operaciones y la del marketing debe tener una interconexión muy bien diseñada entre ambas. Los términos *ganador de pedidos* y *calificador de pedidos* describen las dimensiones orientadas al marketing fundamentales para competir con éxito. El criterio del **ganador de pedidos** diferencia entre los productos o los servicios de una empresa y los de otras. Según la situación, el criterio de ganar pedidos se puede referir al costo del producto (precio), a la calidad y confiabilidad del producto o a alguna otra dimensión ya mencionada. El criterio del **calificador de pedidos** sirve de tamiz y permite incluso considerar los productos de la empresa para su posible compra. Terry Hill, profesor de Oxford, afirma que una empresa debe "recalificar los calificadores de pedidos" todos los días de su existencia.

Ganador de pedidos

Calificador de pedidos

Es importante recordar que los criterios de ganador de pedidos y de calificador de pedidos cambian con el transcurso del tiempo. Por ejemplo, cuando las compañías japonesas ingresaron a los mercados de automóviles del mundo en la década de 1970, cambiaron la forma de ganar pedidos de estos productos, la cual dejó de basarse predominantemente en el precio para pasar a la calidad y confiabilidad del producto. Los fabricantes estadounidenses de automóviles perdieron pedidos ante las compañías japonesas en razón de la calidad. Para finales de la década de 1980, Ford, General Motors y Chrysler elevaron la calidad de sus productos y ahora "califican" para estar en el mercado. Los grupos de consumidores están siempre atentos a los criterios de la calidad y confiabilidad, y con ellos recalifican a las empresas con mejor desempeño. Hoy en día, los ganadores de pedidos de automóviles varían en gran medida según el modelo. Los clientes saben muy bien cuál es el conjunto de características que desean (como confiabilidad, diseño y rendimiento del combustible) y quieren adquirir una combinación particular de ellas con el precio más bajo para maximizar el valor.

Global

Ajuste estratégico: adaptar las actividades de las operaciones a la estrategia

Todas las actividades que conforman la operación de una empresa están relacionadas. Para que estas actividades sean eficientes se debe reducir su costo total sin sacrificar las necesidades de los clientes. IKEA se dirige a jóvenes que compran muebles y quieren obtener estilo con precios bajos. La empresa optó por desempeñar sus actividades de diferente manera que sus rivales.

Servicio

Piense en la mueblería común, con salas de exhibición para la mercancía. Un área contendría muchos sofás, otra exhibiría comedores y otras se concentrarían en tipos particulares de muebles. Decenas de libros tienen muestras de telas, madera u otros estilos que ofrecen a los clientes infinidad de variedades de productos para elegir. Los vendedores acompañan a los clientes mientras recorren la tienda, contestando sus preguntas y ayudándoles a navegar en este laberinto de opciones. Cuando el cliente decide lo que quiere, su pedido se envía a un tercero, que es el fabricante. Con suerte, los muebles llegan a la casa del cliente entre seis y ocho semanas

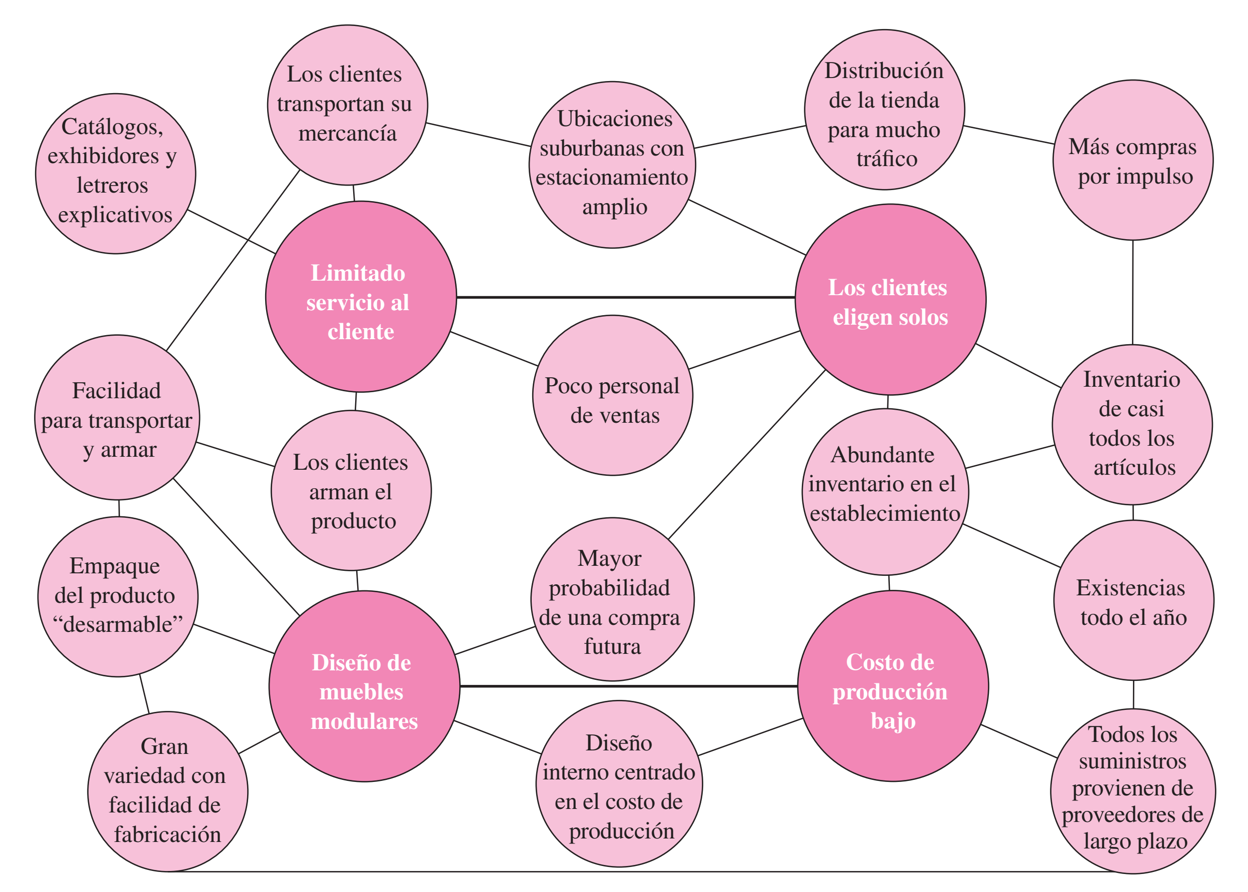
después. Esta cadena de suministro maximiza el servicio y la fabricación a la medida del cliente, pero con un costo muy elevado.

En cambio, IKEA atiende a clientes que con gusto sacrifican el servicio por el costo. En lugar de asociados de ventas, IKEA emplea un modelo de autoservicio con espacios que semejan habitaciones en las cuales se exhiben los muebles en un contexto familiar. En lugar de recurrir a terceros para la fabricación, IKEA diseña sus propios muebles modulares, listos para armarse, con precios bajos. En un almacén de la mueblería se guardan los productos en cajas listas para su entrega. Los clientes recogen su compra en la bodega. Gran parte del bajo costo de operación se deriva del autoservicio de los clientes, pero IKEA ofrece otros servicios, como guarderías dentro de la tienda y horarios extendidos. Estos servicios se ciñen muy bien a las necesidades de sus clientes, jóvenes pero no ricos, y que quizá tengan hijos y deban comprar en horarios poco convencionales.

Mapas de sistemas de actividades

La ilustración 2.3 muestra que IKEA aplica su estrategia mediante una serie de actividades diseñadas al efecto. Los **mapas de sistemas de actividades**, como el de IKEA, muestran cómo se desarrolla la estrategia con actividades a la medida. En empresas con una estrategia clara es posible identificar temas estratégicos de orden superior (círculos en tono oscuro), los cuales se ponen en práctica mediante grupos de actividades muy relacionadas. Este tipo de mapa es muy útil para entender si el sistema de actividades se ajusta bien a la estrategia. La ventaja competitiva proviene del buen enlace entre las actividades de la empresa y de su refuerzo recíproco.

ILUSTRACIÓN 2.3
Mapa del sistema de actividades.



Los mapas del sistema de actividades, como el de IKEA, muestran la posición estratégica de la compañía en un conjunto de actividades a la medida diseñadas para realizarlo. En empresas con una posición estratégica clara se identifican temas estratégicos de orden superior (círculos en tono oscuro) que se aplican mediante grupos de actividades muy relacionadas (círculos en tono claro).

Fuente: M. E. Porter, *On Competition*, Boston, HBS, 1998, p. 50.

Marco de la estrategia de operaciones y cadena de suministro

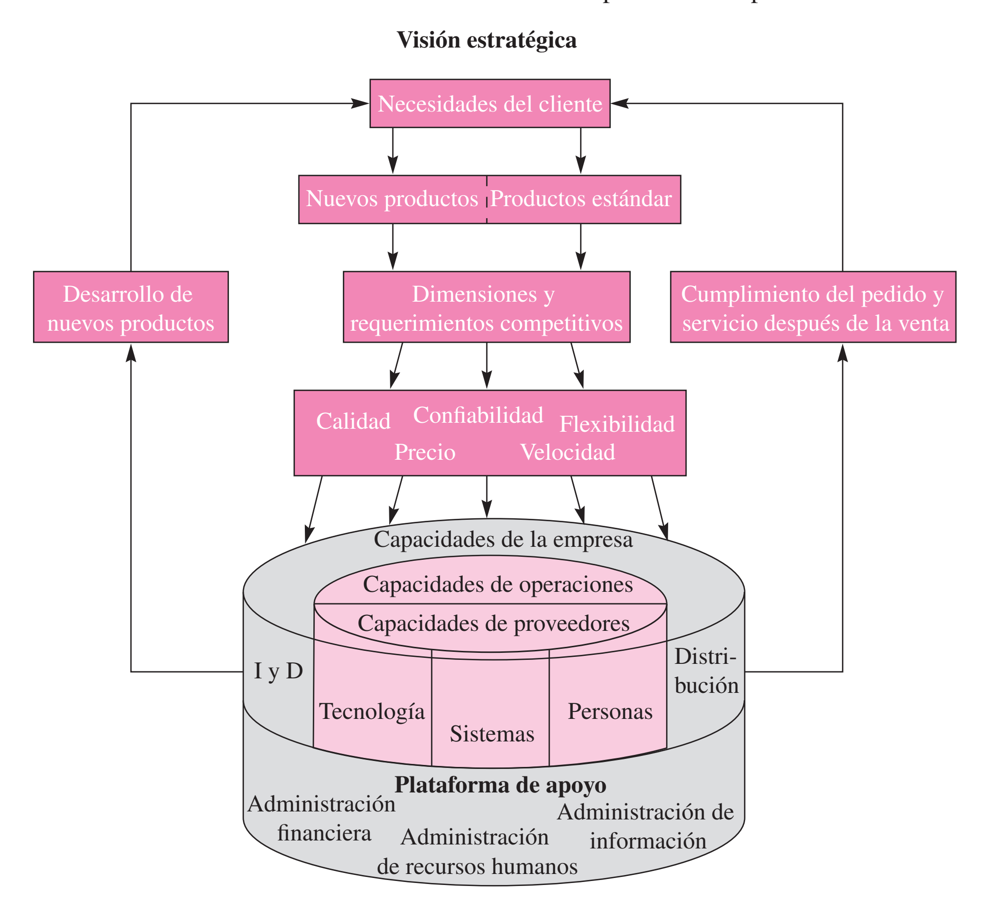
Es imposible diseñar una estrategia de operaciones en el vacío. Debe vincularse en el plano vertical a los clientes y, en el horizontal, a otras partes de la empresa. La ilustración 2.4 muestra estos vínculos entre las necesidades de los clientes, sus prioridades de desempeño y los requerimientos para las operaciones de producción, así como las operaciones y las capacidades de recursos de la empresa relacionadas con ellas y requeridas para satisfacer esas necesidades. Este marco está inmerso en la visión estratégica que la alta gerencia tiene para la empresa. Esta visión identifica, en términos generales, el mercado meta, la línea de productos, y las competencias centrales y de operaciones de la empresa.

Suele ser difícil elegir un mercado meta, pero se debe hacer. De hecho, la decisión tal vez implique rechazar negocios al eliminar un segmento de clientes a los cuales simplemente no sería rentable o sería muy difícil atender dadas las capacidades de la empresa. Un ejemplo serían los fabricantes de ropa que no tienen medias tallas en sus líneas de vestidos. Las **competencias centrales** (o competencias) son las habilidades que distinguen a la empresa de servicios o manufactura de sus competidoras.

Competencias centrales

Probablemente lo más difícil para una empresa sea dejar de lado la tradición. Los administradores de alto nivel muchas veces se anotan un éxito cuando se basan en innovaciones de hace 15 o 20 años. Muchas veces, a estos administradores les resulta demasiado cómodo solo juguetear con el sistema actual. Todas las nuevas tecnologías avanzadas se presentan como un arreglo rápido. Es fácil aceptar con entusiasmo estas tecnologías para parchar el sistema actual. Esto es emocionante para los administradores e ingenieros que trabajan en la empresa, pero no

ILUSTRACIÓN 2.4 Marco de la estrategia de operaciones y cadena de suministro. De las necesidades del cliente al cumplimiento del pedido.



crea una competencia central distintiva; es decir, una competencia que gane clientes futuros. Lo que deben hacer las empresas en este mundo de intensa competencia global no es recurrir a más técnicas, sino encontrar la manera de estructurar todo un nuevo sistema para fabricar sus productos mejor y de un modo diferente a la de sus competidoras.

Medición de la productividad

Productividad

La **productividad** es una medida común para saber si un país, industria o unidad de negocios utiliza bien sus recursos (o factores de producción). Como la administración de operaciones y suministro se concentra en hacer el mejor uso posible de los recursos de una empresa, resulta fundamental medir la productividad para conocer el desempeño de las operaciones. En esta sección se definen varias medidas de productividad. A lo largo de este libro se definirán muchas otras medidas del desempeño relacionadas con el material.

En este sentido amplio, la productividad se define como:

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Salidas}}{\text{Entradas}}$$

Para incrementar la productividad, lo ideal es que la razón entre salida y entrada sea lo más grande posible.

La productividad es lo que se conoce como *medida relativa*; es decir, para que tenga significado, se debe comparar con otra cosa. Por ejemplo, ¿qué significa que la productividad de la operación de un restaurante la semana pasada fue de 8.4 clientes por hora-hombre? ¡Absolutamente nada!

La productividad se puede comparar de dos formas. En primer término, una compañía se compara con operaciones similares de su mismo sector o, si existen, utiliza datos del sector (por ejemplo, se compara la productividad de varios establecimientos de una misma franquicia). Otro enfoque es medir la productividad de una misma operación a lo largo del tiempo. En este caso se compara la productividad registrada en un periodo determinado con la registrada en el siguiente.

La ilustración 2.5 muestra que la productividad se expresa también en forma de medidas parciales, multifactoriales o totales. Si interesa la razón entre el producto y un insumo único, se

ILUSTRACIÓN 2.5
Ejemplos de medidas de productividad.

Medida parcial $\frac{\text{Producto}}{\text{Entradas}}$ o $\frac{\text{Producto}}{\text{Capital}}$ o $\frac{\text{Producto}}{\text{Materiales}}$ o $\frac{\text{Producto}}{\text{Energía}}$

Medida multifactorial $\frac{\text{Producto}}{\text{Trabajo + Capital + Energía}}$ o $\frac{\text{Producto}}{\text{Trabajo + Capital + Materiales}}$

Medida total $\frac{\text{Producto}}{\text{Insumo}}$ o $\frac{\text{Bienes y servicios producidos}}{\text{Todos los recursos utilizados}}$

Excel

Datos de producción de insumos y productos ($)	
Producto	
1. Unidades terminadas	$10 000
2. Trabajo en proceso	2 500
3. Dividendos	1 000
4. Bonos	
5. Otros ingresos	
Total producto	$13 500
Insumo	
1. Humano	$3 000
2. Material	153
3. Capital	10 000
4. Energía	540
5. Otros egresos	1 500
Total insumo	$ 15 193

Ejemplos de medidas de productividad

Medida total

$$\frac{\text{Total producto}}{\text{Total insumo}} = \frac{13\ 500}{15\ 193} = 0.89$$

Medidas multifactoriales:

$$\frac{\text{Total producto}}{\text{Humano + Material}} = \frac{13\ 500}{3\ 1533} = 4.28$$

$$\frac{\text{Unidades terminadas}}{\text{Humano + Material}} = \frac{10\ 000}{3\ 153} = 3.17$$

Medidas parciales:

$$\frac{\text{Total producto}}{\text{Energía}} = \frac{13\ 500}{540} = 25$$

$$\frac{\text{Unidades terminadas}}{\text{Energía}} = \frac{10\ 000}{540} = 18.52$$

tiene una *medida parcial de la productividad;* si se desea conocer la razón entre el producto y un grupo de insumos (pero no todos), hay una *medida multifactorial de la productividad;* si se desea expresar la razón de todos los productos a todos los insumos, se utiliza una *medida del total de los factores de la productividad* para describir la productividad de la organización entera o incluso de un país.

La ilustración 2.5 presenta un ejemplo numérico de la productividad. Los datos reflejan medidas cuantitativas de los insumos y los productos asociados a la generación de un producto dado. Advierta que en el caso de la medida parcial y la multifactorial no es necesario utilizar el total de productos como numerador. Muchas veces es aconsejable crear medidas que representen a la productividad en relación con un determinado producto que interese. Por ejemplo, como en la ilustración 2.5, el total de unidades puede ser el producto que interesa a un gerente de control de producción, mientras que el total de productos puede ser lo que más interese al gerente de la planta. Este proceso de agregación o desagregación de medidas de productividad ofrece una manera de modificar el nivel del análisis para que se ajuste a una serie de medidas de productividad y a las necesidades de mejorar.

La ilustración 2.5 presenta todas las unidades en dólares. Sin embargo, la gerencia muchas veces percibe mejor el desempeño de la empresa con otras unidades en lugar de dólares. En tal caso solo se pueden utilizar medidas parciales de productividad, pues es imposible combinar unidades diferentes, como horas-hombre y kilos de material. La ilustración 2.6 presenta algunos ejemplos de medidas parciales comunes. Estas medidas parciales de productividad proporcionan información a los administradores en unidades conocidas que les permiten relacionarlas sin dificultad con las operaciones reales.

ILUSTRACIÓN 2.6 Medidas parciales de productividad.

Negocio	Medidas de productividad
Restaurante	Clientes (comidas) por hora-hombre
Establecimiento minorista	Ventas por metro cuadrado
Granja avícola	Kilos de carne por kilo de alimento
Planta de energía eléctrica	Kilowatts por tonelada de carbón
Fábrica de papel	Toneladas de papel por metros cúbicos de madera

¿Cómo evalúa Wall Street el desempeño de las operaciones?

Comparar empresas en términos de operaciones es importante para los inversionistas porque el costo relativo de ofrecer un bien o servicio es esencial para que las ganancias crezcan. Cuando se piensa en esto, el crecimiento de las ganancias en gran medida está en función de la rentabilidad de la empresa, y la utilidad se incrementa si se registran más ventas y/o se reducen costos. Las empresas muy eficientes suelen destacar cuando la demanda baja durante periodos de recesión porque por lo general conservan sus utilidades en virtud de su estructura de costos bajos. Estas empresas conocedoras de las operaciones incluso llegan a observar que una recesión es una oportunidad para ganar participación de mercado mientras que las competidoras menos eficientes se esfuerzan por permanecer abiertas.

Considere la industria automotriz, donde la eficiencia ha sido un factor tan importante. La ilustración 2.7 presenta un comparativo de algunas compañías importantes. Las proporciones reflejan el desempeño de 2008, antes de la reestructuración de General Motors y Chrysler en 2009. Se observa que Toyota domina el grupo. Su ingreso neto por empleado es cinco veces mayor que el de Ford y Chrysler, lo cual de verdad representa un logro notable. Toyota también sobresale en el terreno de rotación de cuentas por cobrar, de inventario y de activos. Ford y General Motors se han esforzado por aplicar la filosofía de la administración de inventarios introducida por Toyota en Japón. La verdadera eficiencia va más allá de la administración de inventarios y requiere un sistema integral de desarrollo de productos, ventas, producción y suministro. Toyota tiene un enfoque muy maduro para estas actividades, lo cual se advierte con claridad en los resultados.

ILUSTRACIÓN 2.7 Medidas de eficiencia que aplica Wall Street.

Comparativo de empresas de automóviles					
Medida de la eficiencia de la administración	**Toyota**	**Ford**	**General Motors**	**Chrysler**	**Industria**
Ingreso por empleado	$40 000	$8 000	$10 000	$8 000	$15 000
Ganancia por empleado	$663 000	$535 000	$597 000	$510 000	$568 000
Rotación de cuentas por cobrar	4.0	1.5	1.0	2.2	2.1
Rotación de inventarios	12.0	11.5	11.7	5.9	11.0
Rotación de activos	0.8	0.6	0.4	0.8	0.8

Todos los veranos, *USA Today* publica informes anuales del aumento de la productividad de las empresas estadounidenses más grandes. En años recientes la productividad ha aumentado, lo cual es muy bueno para la economía. La productividad suele aumentar en tiempos de recesión porque, cuando se recorta la planta laboral, se espera que los empleados restantes realicen más trabajo. Los incrementos también se deben a avances tecnológicos. Piense en el papel que desempeñó el tractor para la productividad agrícola.

Cuando se evalúa a las empresas que aumentan o pierden más productividad es importante fijarse en explicaciones fuera de lo común. Por ejemplo, los aumentos de productividad de las compañías de energéticos se deben casi en exclusiva al aumento de los precios del petróleo, que dispararon su ingreso sin obligarlas a contratar a más empleados. Las empresas farmacéuticas, como Merck y Pfizer, no han registrado muy buen desempeño en fechas recientes. El desplome de su productividad se debió sobre todo a sucesos únicos; en el caso de Merck, a que se deshizo de una subsidiaria, y en el de Pfizer, a que compró una empresa. Estas fluctuaciones únicas generan mucho ruido cuando se investiga el buen manejo de una empresa. Es más aconsejable estudiar los patrones de productividad de varios años.

Resumen

En este capítulo se subrayó la importancia del enlace entre la administración de operaciones y cadena de suministro y el éxito competitivo de la empresa. Los temas del libro incluyen los que todo administrador debe conocer. Las actividades de operaciones y cadena de suministro de la empresa deben apoyar, en términos estratégicos, las prioridades competitivas de la empresa. El proceso integral completo de IKEA, inclusive el diseño de productos y empaques, producción, distribución y establecimientos minoristas, se ajusta con cuidado para ofrecer productos innovadores y funcionales al precio más bajo posible.

En este capítulo se demostró que la estrategia global de la empresa se relaciona con la de operaciones y cadena de suministro. Algunos conceptos importantes son las dimensiones competitivas de las operaciones, ganadores y calificadores de pedidos, y el ajuste de la estrategia. Las ideas son aplicables prácticamente a todo negocio, y son fundamentales para que la empresa tenga la capacidad de mantener una ventaja competitiva. Para que una empresa no deje de ser competitiva, todas las actividades de operaciones deben reforzar su estrategia. Los analistas de Wall Street siempre vigilan la eficiencia de las compañías desde el punto de vista de sus operaciones. Las compañías fuertes en términos de operaciones pueden generar más utilidad por cada dólar de ventas y, por tanto, resultan inversiones atractivas.

Conceptos clave

Triple objetivo Estrategia de negocios que incluye criterios sociales, económicos y ambientales.

Estrategia de operaciones y cadena de suministro Establecer políticas y planes generales para utilizar los recursos de una empresa de modo que apoyen mejor la estrategia competitiva de largo plazo.

Ambigüedad Se presenta cuando una empresa pretende igualar lo que hace un competidor y añade nuevas características, servicios o tecnologías a las actividades ya existentes. Esto suele provocar problemas cuando es necesario sacrificar ciertas áreas de oportunidad.

Ganador de pedidos Dimensión que distingue entre los productos o servicios de una empresa y los de otra.

Calificador de pedidos Dimensión para tamizar un producto o servicio como candidato para su compra.

Mapas de sistemas de actividades Diagrama que muestra cómo aplicar la estrategia de una empresa por medio de una serie de actividades de apoyo.

Competencias centrales Habilidades que distinguen a una empresa manufacturera o de servicios de sus competidoras.

Productividad Medida de cuán bien se utilizan los recursos.

Problema resuelto

Una compañía que fabrica muebles proporciona los siguientes datos. Compare la mano de obra, materias primas y suministros, y la productividad total de 2009 y 2010.

		2009	2010
Producto:	Valor de la producción vendida	$22 000	$35 000
Insumo:	Mano de obra	10 000	15 000
	Materias primas y suministros	8 000	12 500
	Depreciación de equipo de capital	700	1 200
	Otros	2 200	4 800

Solución

	2009	2010
Productividades parciales		
Mano de obra	2.20	2.33
Materias primas y suministros	2.75	2.80
Productividad total	1.05	1.04

Preguntas de repaso y análisis

1. ¿Una fábrica puede ser rápida, confiable y flexible, elaborar productos de gran calidad y, sin embargo, desde la perspectiva de un cliente, brindar un mal servicio?
2. ¿Por qué una organización de servicios debe preocuparse por ser de categoría mundial si no compite fuera de sus fronteras nacionales? ¿Qué impacto tiene internet en este caso?
3. ¿Cuáles son las prioridades básicas asociadas a la estrategia de operaciones? ¿Cómo ha cambiado su relación con el transcurso de los años?
4. En el caso de cada prioridad de la pregunta 3, describa las características únicas del nicho de mercado con el cual es más compatible.
5. Encuentre ejemplos de empresas que hayan aplicado ofertas relacionadas con la sustentabilidad ambiental para "ganar" clientes.
6. Hace algunos años, el dólar estaba relativamente débil ante otras divisas, como el yen, el euro y la libra. Esto estimuló las exportaciones. ¿Por qué una dependencia de largo plazo en un dólar con bajo valor sería, en el mejor de los casos, una solución de corto plazo para el problema de la competitividad?
7. ¿Considera usted que las escuelas de administración tienen prioridades competitivas?
8. ¿Por qué no cesa de cambiar la estrategia "correcta" de operaciones para las empresas competidoras de categoría mundial?
9. ¿Qué quieren decir las expresiones *ganadores de pedidos* y *calificadores de pedidos*? La última vez que compró un producto o servicio importante, ¿cuál fue su ganador de pedidos?
10. ¿Qué se entiende cuando se dice que la productividad es una medida "relativa"?

Problemas*

1. Usted es gerente de operaciones y le preocupa cumplir con los requisitos de ventas en los meses entrantes. Le acaban de presentar el siguiente informe de producción:

	Ene	Feb	Mar	Abr
Unidades producidas	2 300	1 800	2 800	3 000
Horas-máquina	325	200	400	320
Número de máquinas	3	5	4	4

Encuentre la productividad mensual promedio (unidades por hora).

2. Sailmaster fabrica velas de alto rendimiento para surfistas de competencia. A continuación se presenta información de los insumos y productos para un modelo, el Windy 2000.

Unidades vendidas	1 217
Precio de venta por unidad	$1 700
Total de horas-hombre	46 672
Tarifa salarial	$12/hora
Total de materiales	$60 000
Total de energía	$4 000

Calcule la productividad de **ingresos por ventas/egresos por mano de obra**.

3. Acme Corporation recibió los datos que se presentan a continuación de su unidad de producción de jaulas para roedores. Encuentre la productividad total.

Producto	Insumo	
50 000 jaulas	Tiempo de producción	620 horas-hombre
Precio de venta: $3.50 por unidad	Salarios	$7.50 por hora
	Materias primas (costo total)	$30 000
	Componentes (costo total)	$15 350

4. Un fabricante produjo dos clases de autos (Deluxe y Limited). A continuación se presentan las cantidades vendidas, precio por unidad y horas-hombre. ¿Cuál es la productividad de mano de obra por cada auto? Explique el o los problemas asociados a la productividad de la mano de obra.

	Cantidad	$/Unidad
Automóvil Deluxe	4 000 unidades vendidas	$8 000/auto
Automóvil Limited	6 000 unidades vendidas	$9 500/auto
Trabajo, Deluxe	20 000 horas	$12/hora
Trabajo, Limited	30 000 horas	$14/hora

5. Una subsidiaria estadounidense en un PVD (país en vías de desarrollo) presenta los siguientes resultados:

	Estados Unidos	PVD
Ventas (unidades)	100 000	20 000
Trabajo (horas)	20 000	15 000
Materias primas (moneda)	$20 000	FC 20 000
Equipo de capital (horas)	60 000	5 000

a) Calcule las cifras parciales de la productividad de mano de obra y el capital para la matriz y la subsidiaria. ¿Los resultados parecen engañosos?
b) Calcule las cifras de la productividad multifactorial de mano de obra y el capital juntas. ¿Los resultados están más claros?
c) Calcule las cifras de la productividad de materias primas (unidades/$, donde $1 = FC 10). Explique por qué estas cifras pueden ser más elevadas en la subsidiaria.

* Agradecemos de manera especial a Bill Ruck, de Arizona State University, por los problemas de esta sección.

6. A continuación se presentan algunos datos financieros de 2009 y 2010. Calcule la medida de la productividad total y las medidas parciales de la mano de obra, capital y materias primas de los dos años. ¿Qué le dicen de esta empresa estas medidas?

		2009	2010
Producto:	Ventas	$200 000	$220 000
Insumo:	Trabajo	30 000	40 000
	Materias primas	35 000	45 000
	Energía	5 000	6 000
	Capital	50 000	50 000
	Otros	2 000	3 000

7. Una empresa fabrica aparatos de comunicaciones para la milicia. La compañía acaba de entregar dos pedidos. El pedido de la Marina fue por 2 300 aparatos y requirió 25 trabajadores durante dos semanas (40 horas por semana) para terminarlo. El pedido del Ejército fue por 5 500 aparatos, para los cuales se necesitaron 35 trabajadores durante tres semanas. ¿En cuál pedido fueron más productivos los trabajadores?
8. Una tienda minorista registró ventas por $45 000 en abril y $56 000 en mayo. La tienda tiene ocho empleados de tiempo completo, que trabajan 40 horas a la semana. En abril, la tienda también tuvo siete trabajadores de tiempo parcial, de 10 horas por semana, y en mayo tuvo nueve trabajadores de tiempo parcial, de 15 horas por semana (suponga que el mes tiene cuatro semanas). Con dólares de ventas como medida del producto, ¿cuál es el cambio porcentual de la productividad de abril a mayo?
9. Una compañía de paquetería entregó 103 000 paquetes en 2009, con un promedio de 84 repartidores. En 2010 manejó 112 000 entregas con 96 repartidores. ¿Cuál fue el cambio porcentual de la productividad de 2009 a 2010?
10. Un restaurante de comida rápida sirve hamburguesas normales, hamburguesas con queso y emparedados de pollo. El restaurante cuenta una hamburguesa con queso como equivalente a 1.25 hamburguesas normales, y un emparedado de pollo como 0.8 hamburguesa normal. Actualmente tiene cinco empleados de tiempo completo que trabajan 40 horas a la semana. Si el restaurante vendió 700 hamburguesas normales, 900 hamburguesas con queso y 500 emparedados de pollo en una semana, ¿cuál es su productividad? ¿Cuál habría sido su productividad si hubiera vendido el mismo número de unidades (2 100) pero la mezcla fuera de 700 de cada tipo?

CASO: EL TAO DE TIMBUK2*

"Timbuk2 es mucho más que una mochila. Es mucho más que una marca. Timbuk2 es un compromiso. En opinión de su dueño, una mochila Timbuk2 es un compañero confiable todos los días. Todo el tiempo se observa que los clientes de Timbuk2 establecen fuertes nexos emocionales con sus mochilas. Una mochila Timbuk2 muy usada refleja una especie de pátina, manchas y cicatrices de aventuras urbanas de todos los días. Muchas mochilas Timbuk2 todos los días a lo largo de un decenio o más acompañan a su dueño por toda suerte de hechos que definen su vida. Fiel a nuestra leyenda de 'indestructibilidad', no es raro que una mochila Timbuk2 dure más que un empleo, una relación personal o incluso una mascota. Este es el Tao de Timbuk2."

¿Qué hace que Timbuk2 sea única? Visite su sitio web, **www.timbuk2.com**, y entérese por qué. En este sitio web, el cliente diseña su mochila a su medida. Primero elige la configuración y el tamaño básico de la mochila y, a continuación, se le presentan varios colores para cada lado, diversas líneas, logotipos, bolsitas y tirantes, de modo que la mochila se fabrica conforme a sus especificaciones exactas. Tras un rápido *clic* del ratón, la mochila se entrega directamente al cliente dos días después. ¿Cómo hacen todo esto?

Esta empresa, con sede en San Francisco, es famosa por sus bolsas de alta calidad clásicas para mensajero y a la medida, directas para satisfacer el pedido de un cliente. Tienen un equipo de alrededor de 25 cortadores y costureros que trabajan con ahínco en su planta de San Francisco. Con los años han afinado su línea de producción para que sea lo más eficiente posible y, al mismo tiempo, producen las bolsas para mensajero de mejor calidad.

La producción local se concentra en la mochila de mensajero a la medida. En el caso de estas mochilas, los pedidos se toman

* Agradecemos de manera especial a Kyle Caltani, de Indiana University, por este caso.

por internet. Se presentan muchas configuraciones a los clientes, así como opciones de tamaño, color, bolsas y tirantes. La bolsa se fabrica según las especificaciones exactas del cliente en la línea de montaje de Timbuk2 en San Francisco y se envía por mensajería nocturna directamente al cliente.

Hace poco Timbuk2 empezó a fabricar algunos de sus nuevos productos en China, lo cual es una preocupación para algunos de sus antiguos clientes. La compañía afirma que diseña sus nuevos productos de modo que ofrezcan las mejores características de calidad y valor posibles a un precio razonable, y subraya que estos nuevos productos se diseñaron en San Francisco. Timbuk2 sostiene que es mucho más complicado armar las nuevas mochilas y que su producción requiere mucha más mano de obra y una serie de costosas máquinas. También dice que el solo costo de la mano de obra en la fábrica de San Francisco provocaría que el precio al menudeo fuera absurdamente elevado. Tras investigar una decena de fábricas en China, Timbuk2 encontró una que considera a la altura de la tarea de producir estas nuevas mochilas. La fábrica de China, de forma muy parecida a la de San Francisco, emplea a un equipo de trabajadoras manuales que ganan un buen salario y se ganan la vida honradamente. Timbuk2 visita la fábrica de China cada cuatro u ocho semanas para vigilar las altas normas de calidad y las condiciones laborales.

En el sitio web de Timbuk2, la compañía declara que aún son el mismo grupo esforzado de fanáticos de las mochilas que diseña y fabrica mochilas excelentes, además de apoyar nuestra comunidad local y el mercado global cada vez más competitivo. La compañía reporta que la demanda de mochilas a la medida fabricadas en San Francisco es aún sólida, y que las nuevas mochilas para computadoras portátiles provenientes de China reciben comentarios muy favorables. El negocio adicional les permitió contratar a más personas en todos los departamentos de la matriz en San Francisco, para crear más empleos locales.

Preguntas

1. Piense en las dos categorías de productos que fabrica y vende Timbuk2. En el caso de la mochila de mensajero a la medida, ¿cuáles son las dimensiones competitivas fundamentales que impulsan las ventas? ¿Sus prioridades competitivas son diferentes de las de las nuevas mochilas para computadoras portátiles fabricadas en China?
2. Compare la línea de montaje de China con la de San Francisco en las dimensiones siguientes: 1) volumen o índice de producción, 2) habilidades requeridas de los trabajadores, 3) grado de automatización y 4) cantidades de inventario de materias primas y bienes terminados.
3. Trace dos diagramas, uno que describa la cadena de suministro de los productos fabricados en China y el otro que describa las mochilas producidas en San Francisco. Indique los pasos principales, con materias primas, producción, bienes terminados, inventario de distribución y transporte. Además del costo de producción, ¿cuáles otros costos debe tomar en cuenta Timbuk2 al tomar su decisión de suministro?

Cuestionario

1. Estrategia diseñada para satisfacer necesidades actuales sin comprometer la capacidad de futuras generaciones para satisfacer sus necesidades.
2. Los tres criterios propios del triple objetivo.
3. Probablemente lo más difícil de igualar en esta importante dimensión competitiva.
4. Mencione las siete dimensiones competitivas de operaciones y suministro.
5. Esto ocurre cuando una compañía busca igualar lo que hace un competidor sin descuidar su posición competitiva existente.
6. Criterio que diferencia los productos o servicios de una firma respecto de los de otra.
7. Criterio de selección que permite que los productos de una empresa se consideren como posibles candidatos para compra.
8. Diagrama que muestra las actividades que apoyan la estrategia de una empresa.
9. Medida calculada para determinar la proporción entre salida y entrada.

1. Sustentable 2. Social, económico, ambiental 3. Costo 4. Costo, calidad, rapidez de entrega, confiabilidad de entrega, manejar cambios en demanda, flexibilidad y rapidez de introducción de un nuevo producto, otros criterios específicos de un producto 5. Ambigüedad 6. Ganador de pedidos 7. Calificador de pedidos 8. Mapa de sistema de actividades 9. Productividad

Bibliografía seleccionada

Blanchard, David, *Supply Chain Management Best Practices,* Nueva York, John Wiley & Sons, 2006.

Hayes, Robert, Gary Pisano, David Upton y Steven Wheelwright, *Operations, Strategy, and Technology: Pursuing the Competitive Edge,* Nueva York, John Wiley & Sons, 2004.

Hill, T. J., *Manufacturing Strategy-Text and Cases,* Burr Ridge, Illinois, Irwin/McGraw-Hill, 2000.

Slack, N. y M. Lewis, *Operations Strategy,* Harlow, Inglaterra, y Nueva York, Prentice-Hall, 2002.

Capítulo 3

DISEÑO DE PRODUCTOS Y SERVICIOS

Después de leer este capítulo, usted:

1. Entenderá el proceso de desarrollo de productos tanto para manufactura como de servicio.
2. Demostrará la forma como el desarrollo de productos tiene un importante efecto económico en la firma.
3. Alineará el diseño con los deseos del cliente mediante conceptos de despliegue de función de calidad (QFD).
4. Explicará cómo el diseño tiene un impacto importante en el costo de manufacturas.
5. Conocerá medidas de desempeño del desarrollo de productos.

IDEO, una empresa de diseño e innovación

IDEO es la empresa de diseño más reconocida del mundo. Su creación máxima es el proceso mismo de creatividad. Su cofundador, David M. Kelley, y sus colegas piensan que el trabajo es un juego, que la solución de problemas en grupo donde todos aportan ideas espontáneamente es una ciencia y que la regla más importante es romper las reglas (**www.ideo.com**).

"IDEO es un zoológico (bella metáfora para esta era del nanosegundo). Expertos de todo el mundo se entremezclan en 'oficinas' que parecen más bien cacofónicos salones de un jardín de niños que la sede de una de las compañías más exitosas de Estados Unidos (y del mundo). Los escritorios están hasta el tope de trabajos en proceso y de los restos de atracones nocturnos de comida rápida. Hay por doquier modelos de lámparas futuristas, de aparatos de cine para efectos especiales y de analizadores de química sanguínea de tecnología avanzada, en distintas etapas de desarrollo, y son motivo de la presencia interminable de mirones. Los programas de software más avanzados del mundo, que funcionan en las estaciones de trabajo más avanzadas del orbe y están conectados en red con quién sabe quién, de quién sabe cuál lugar del mundo, no cesan de zumbar las 24 horas del día.

"Los clientes y otros visitantes entran y salen sin gran alharaca. El parloteo no cesa. Las sesiones de trabajo en donde todos los del grupo aportan ideas, que enfrentan entre sí a decenas de mentes procedentes de distintas disciplinas en su afanosa búsqueda de ideas absurdas, se convocan prácticamente sin previo aviso. Hay bicicletas a lo largo de todos los pasillos. Todos los muros lucen premios de broma, junto con otros impresionantes. El fondo del asunto: IDEO termina el trabajo a tiempo, dentro de presupuesto y con una imaginación excepcional".[1]

El novedoso proceso de diseño de IDEO se centra en dos actividades que se repiten una y otra vez:

[1] Tomado de T. Peters, "Beating the Great Blight of Dullness", *Forbes* ASAP (sin fecha).

1. **Lluvia de ideas.** IDEO aplica algunas reglas muy estrictas durante estas sesiones.
   a) Deje para después los juicios de opinión, de modo que el flujo de ideas no se interrumpa.
   b) Aproveche las ideas ajenas, porque esto es mucho más productivo que llevarse la gloria por las propias.
   c) Permanezca centrado en el tema; las salidas por la tangente están prohibidas.
   d) Que hable una persona a la vez, de modo que no deje escuchar al brillante individuo que habla en voz baja y lentamente desde un rincón de la sala.
   e) Busque la cantidad: 150 ideas en 30-45 minutos está bien.
   f) Fomente las ideas descabelladas.
   g) Sea visual; por ejemplo, esboce las ideas para que todos las entiendan.
2. **Elaboración rápida de prototipos.** La idea es que resulta más fácil discutir el modelo de algo, sin importar lo primitivo que sea, que hablar sobre un montón de ideas abstractas. Los prototipos rápidos se basan en tres puntos: hágalos en bruto, rápido y bien. Los dos primeros se explican por sí mismos: haga sus modelos en bruto y rápido. En las primeras etapas de un modelo, perfeccionarlo es una pérdida de tiempo. La palabra bien no significa que su modelo deba funcionar, sino a crear un montón de pequeños modelos que se centren en problemas específicos. Por ejemplo, cuando un grupo de IDEO diseñó un teléfono, recortó docenas de piezas de hule espuma y se las colocó entre la cabeza y el hombro con el propósito de encontrar la forma más conveniente para el aparato…

Diseñar nuevos productos y llevarlos al mercado con rapidez es el reto que afrontan los fabricantes de industrias tan distintas como la de obleas de silicio y la de obleas de harina. Los clientes de los fabricantes de obleas de silicio, tales como los fabricantes de computadoras, necesitan semiconductores cada vez más potentes para la evolución de sus líneas de productos. Los fabricantes de alimentos necesitan proporcionar a las tiendas de abarrotes nuevos sabores para mantener o aumentar su participación del mercado minorista. La forma de diseñar los productos manufacturados y de elegir el proceso para fabricarlos son los temas de este capítulo.

Proceso del diseño de productos

Continuamente las empresas fabrican nuevos productos para el mercado porque cambian las necesidades y deseos de los clientes. El diseño de productos es parte integral del éxito de numerosas compañías y difiere considerablemente según la industria. Para productos al consumidor, es muy importante entender sus preferencias y hacer pruebas de mercado de productos futuros o esperados. Para productos farmacéuticos, con frecuencia se requieren pruebas clínicas exhaustivas con experimentos controlados con cuidado para probar tanto la seguridad como la eficacia de un potencial producto. Las compañías que se especializan en el diseño de productos tienen procesos muy perfeccionados para apoyar las actividades necesarias en una industria.

En el mundo actual, es frecuente que las compañías subcontraten algunas funciones principales en lugar de realizarlas en sus instalaciones. Las compañías que se especializan en fabricar productos para otras empresas han tenido mucho éxito. Estas compañías reciben el nombre de **fabricantes por contrato** y ahora son exitosas en industrias como las de productos electrónicos, ropa, medicamentos, plásticos y fabricación a la medida. Una definición simple de fabricante por contrato dice que se trata de una organización con capacidad para fabricar y/o comprar todos los componentes que se necesitan para fabricar un producto o un aparato terminado.

Fabricantes por contrato

El uso de fabricantes por contrato cambió considerablemente la forma en que las compañías manufactureras tradicionales operan en la actualidad. Según la situación, los fabricantes por contrato realizan diferentes funciones en una compañía. Por ejemplo, en la industria automovilística, los fabricantes por contrato producen muchas de las piezas y subconjuntos, como asientos y otras partes del interior, los conjuntos de los faros delanteros y las luces traseras así como el equipo electrónico, por ejemplo, sistemas de radio/CD y de navegación GPS. Es frecuente que los auto-

móviles de hoy se armen en regiones de los países donde se venderán los productos a efecto de reducir los costos de transporte y de controlar el riesgo cambiario. Para tener éxito se requiere una estrecha coordinación para administrar la red de plantas armadoras y a los fabricantes por contrato asociados.

Dadas las ventajas potenciales de los fabricantes por contrato para elaborar productos, así como de empresas especializadas en diseño, una empresa tiene que determinar sus competencias básicas. La **competencia clave** de una compañía es lo que hace mejor que sus competidores. Una competencia clave puede ser cualquier cosa, desde el diseño de productos hasta la dedicación sustentable de los empleados de una empresa. La meta es tener una competencia clave que produzca una ventaja competitiva de largo plazo para la compañía.

Competencia clave

Por ejemplo, piense en la experiencia de Honda en el terreno de los motores. Honda logró explotar esta competencia clave para desarrollar una serie de productos de buena calidad, desde podadoras de césped y removedoras de nieve hasta camiones y automóviles. En otro ejemplo de la industria automovilística, se ha dicho que la competencia básica clave de Volvo es la seguridad.

Una competencia clave tiene tres características:

1. Brinda acceso potencial a una amplia variedad de mercados.
2. Incrementa los beneficios que perciben los clientes.
3. Los competidores tienen dificultad para imitarla.

Un buen ejemplo es el caso de Black and Decker, el fabricante estadounidense de herramientas. La competencia tecnológica central de Black and Decker son los motores eléctricos de entre 200 y 600 watts. Todos sus productos son modificaciones de esta tecnología básica (con la salvedad de sus bancos de trabajo, linternas, sistemas para recargar baterías, hornos tostadores y cafeteras). La empresa fabrica productos para tres mercados:

1. El mercado de los talleres caseros. En este mercado se incorporan pequeños motores eléctricos en la producción de taladros, sierras circulares, lijadoras, fresadoras, herramientas giratorias, pulidoras y destornilladores eléctricos.
2. El mercado de limpieza y mantenimiento del hogar. En este mercado se utilizan pequeños motores eléctricos para sacudidores de polvo, aspiradoras, podadoras de setos, podadoras de orillas, podadoras de césped, sopladoras de hojas y rociadores a presión.
3. El mercado de aparatos para cocina. En este mercado se utilizan pequeños motores eléctricos para abrelatas, procesadores de alimentos, licuadoras, máquinas para hacer pan y ventiladores.

El verdadero reto para la empresa es decidir con claridad cómo manejar las distintas funciones críticas para tener éxito. En un extremo se encuentra la empresa integrada enteramente de manera vertical, en la que todas las actividades se manejan internamente, desde el diseño hasta la fabricación de las piezas individuales. En el otro extremo está la compañía que solo vende productos y subcontrata a terceros para todas las funciones de diseño y producción.

A continuación se presentan algunos ejemplos de lo que hacen algunas compañías muy exitosas:

- Sun Microsystems diseña los módulos SPARC para sus estaciones de trabajo de alto desempeño, pero subcontrata su manufactura a fabricantes especializados (y conserva la titularidad de la propiedad intelectual).
- Una compañía farmacéutica tal vez compre información acerca de objetivos genéticos a una empresa especializada en genómica, contrate a un especialista en combinaciones químicas para una rápida síntesis y selección de los compuestos candidatos, e incluso contrate a una organización dedicada a investigaciones para las pruebas clínicas, pero conserva la titularidad del patrimonio intelectual (patentes, datos experimentales, marcas registradas, etc.) del medicamento que con el tiempo llegará al mercado.

- Dell puso en práctica una serie de sistemas muy especializados que apoyan su estrategia operativa de fabricar por encargo. Creó una serie de procesos logísticos propios, desde el diseño de su página web hasta la infraestructura de sus sistemas de información (proceso que otros no han podido imitar con facilidad). Dell es dueña de los datos de lo que adquieren las personas y sus combinaciones. También se integró verticalmente, en forma de instalaciones de ensamble final diseñadas para producir con gran eficiencia lotes de una sola unidad. Por último, si bien Dell subcontrata los componentes a terceros, utiliza relaciones de largo plazo con sus proveedores y los enlaza con su sistema de información para apoyar una respuesta expedita.

En este capítulo se aborda primero el proceso genérico del diseño de productos. Se desarrolla un proceso genérico y se muestra cómo adaptarlo a distintos tipos de productos comunes y corrientes. A continuación, se demostrará cómo evaluar el efecto económico de los nuevos productos. Más adelante, en este mismo capítulo, se explicará cómo se toman en cuenta las preferencias de los clientes para diseñar los productos y cómo el diseño del producto repercute en el proceso de producción y de montaje. Por último, se explicará la forma de medir el desempeño del desarrollo de productos.

Proceso del desarrollo de productos[2]

Empezamos por definir un proceso genérico para el desarrollo de productos que describe los pasos básicos necesarios para diseñar un producto. El proceso representa la secuencia básica de los pasos o actividades con que la empresa concibe, diseña y lleva un producto al mercado. Muchas de estas tareas implican actividades intelectuales, no físicas. Algunas empresas definen y siguen un proceso de desarrollo preciso y detallado, mientras que otras tal vez ni siquiera puedan describir sus procesos. Toda organización emplea un proceso diferente al de las demás; de hecho, la misma empresa puede aplicar distintos procesos a diferentes grupos de productos.

Nuestro proceso genérico para el desarrollo de productos tiene seis fases, como presenta la ilustración 3.1. El proceso inicia con la fase de planeación, que es el enlace con las actividades avanzadas de la investigación y el desarrollo tecnológicos. El producto de esta fase es el enunciado de la misión del proyecto, que es el insumo necesario para iniciar la fase de desarrollo de los conceptos y la guía para el equipo de desarrollo. La conclusión del proceso de desarrollo del producto es su lanzamiento, cuando la gente compra el producto en el mercado. La ilustración 3.1 enumera las actividades y responsabilidades fundamentales de las distintas funciones de la empresa durante cada fase de desarrollo. Debido a la continua participación de estas funciones en el proceso, unimos las funciones de marketing, diseño y manufactura. Los representantes de otras funciones, como investigación, finanzas, servicio de campo y ventas, también desempeñan funciones clave en puntos del proceso.

Las seis fases del proceso genérico del desarrollo de productos son:

Fase 0: Planeación. La actividad de planeación con frecuencia se conoce como “fase cero” porque precede a la autorización del proyecto y al inicio de hecho del proceso de desarrollo del producto. La fase comienza con la estrategia de la empresa e incluye la evaluación de los desarrollos tecnológicos y los objetivos de mercado. El producto de la fase de planeación es el enunciado de la misión del proyecto, el cual especifica el mercado objetivo del producto, las metas del negocio, las suposiciones fundamentales y las restricciones.

Fase 1: Desarrollo del concepto. En esta fase se identifican las necesidades del mercado objetivo, se generan y evalúan otros conceptos del producto y se selecciona uno o varios conceptos para su ulterior desarrollo y pruebas. El concepto es una descripción de la forma, función y características de un producto, y por lo general va acompañado de una serie de especificaciones, un análisis de los productos de la competencia y una justificación económica del proyecto.

[2] Adaptado de Karl T. Ulrich y Steven D. Eppinger, *Product Design and Development*, 3a. ed., Nueva York, McGraw-Hill/Irwin, 2004, pp. 12-25.

ILUSTRACIÓN 3.1 Proceso genérico del desarrollo de productos. Se muestran seis fases, que incluyen las tareas y responsabilidades de las funciones básicas de la organización en cada fase.

Fase 0 Planeación	Fase 1 Desarrollo del concepto	Fase 2 Diseño en el nivel del sistema	Fase 3 Diseño de detalles	Fase 4 Pruebas y afinación	Fase 5 Producción de transición
Marketing					
• Articular la oportunidad del mercado. • Definir los segmentos del mercado.	• Informarse de lo que necesitan los clientes. • Identificar a usuarios líderes. • Identificar productos de la competencia.	• Preparar plan de las opciones del producto y la familia extendida del producto. • Establecer punto(s) del precio de venta meta.	• Formular plan de marketing.	• Elaborar materiales de promoción y lanzamiento. • Facilitar pruebas de campo.	• Colocar la primera producción en manos de clientes claves.
Diseño					
• Considerar plataforma y arquitectura del producto. • Evaluar nuevas tecnologías.	• Investigar la viabilidad de los conceptos del producto. • Desarrollar los conceptos del diseño industrial. • Construir y probar prototipos experimentales.	• Generar otras arquitecturas del producto. • Definir subsistemas e interconexiones importantes. • Afinar el diseño industrial.	• Definir la geometría de las piezas. • Elegir materiales. • Asignar tolerancias. • Completar la documentación de control del diseño industrial.	• Pruebas de confiabilidad. • Pruebas de duración. • Pruebas de desempeño. • Obtener permisos de autoridades reguladoras. • Aplicar cambios al diseño.	• Evaluar los primeros productos.
Producción					
• Identificar restricciones de la producción. • Establecer la estrategia de la cadena de suministro.	• Estimar costos de producción. • Evaluar viabilidad de la producción.	• Identificar a proveedores de los elementos fundamentales. • Analizar si conviene fabricar o comprar. • Definir el plan final de montaje. • Establecer costos meta.	• Definir los procesos de producción de piezas y partes. • Diseñar el maquinado. • Definir los procesos que garanticen la calidad. • Iniciar la adquisición de equipamiento con mucho tiempo.	• Facilitar la transición de los proveedores. • Afinar los procesos de fabricación y montaje. • Capacitar a la fuerza de trabajo. • Perfeccionar los procesos para garantizar la calidad.	• Iniciar la operación de todo el sistema de producción.
Producción					
• Investigación: Demostrar tecnologías disponibles. • Finanzas: Proporcionar metas de la planeación. • Administración general: Asignar recursos al proyecto.	• Finanzas: Facilitar un análisis económico. • Jurídico: Investigar cuestiones de patentes.	• Finanzas: Facilitar análisis de conveniencia de fabricar o de comprar. • Servicios: Identificar cuestiones de servicios.		• Ventas: Formular planes de ventas.	

Fase 2: Diseño en el nivel del sistema. La fase del diseño del sistema incluye la defini ción de la arquitectura del producto y su división en subsistemas y componentes. El plan final del ensamble (que se analiza más adelante en este capítulo) para el sistema de producción también suele definirse en esta fase. El resultado de esta fase por lo general incluye un trazo geométrico del producto, una especificación del funcionamiento de cada subsistema del producto y un diagrama preliminar del flujo del proceso dentro del proceso final del ensamble.

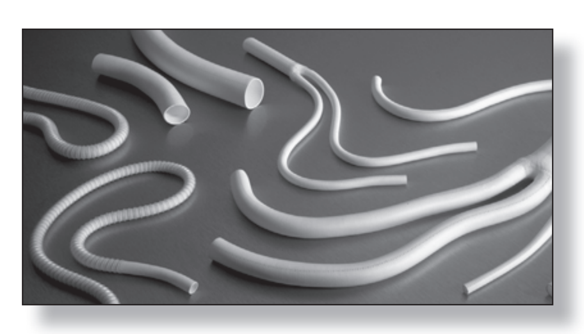
Fase 3: Diseño de detalles. Esta fase incluye la especificación completa de la geometría, materiales y tolerancias de todas las piezas únicas del producto y la identificación de todas las piezas estándar que se comprarán a los proveedores. Se establece un plan del proceso y se diseña el ensamblado para cada pieza que se fabricará dentro del sistema de producción. El producto de esta fase son los planos o archivos de computadora que describen la geometría de cada pieza y el ensamblado para su producción, las especificaciones de las piezas que se comprarán y los planes del proceso para fabricar y armar el producto.

Fase 4: Pruebas y afinación. Esta fase implica la construcción y evaluación de múltiples versiones del producto previas a su producción. Por lo general, los primeros prototipos se construyen con piezas que tienen la misma geometría y propiedades de los materiales que la versión para manufactura del producto, pero no siempre se fabrican con los procesos reales futuros para su producción. Los prototipos se prueban para determinar si el producto funciona para lo que se diseñó o no, y si satisface las necesidades de los clientes.

Fase 5: Producción de transición. En esta fase, el producto se fabrica con el sistema de producción deseado. El objeto de la producción de transición es capacitar a la fuerza de trabajo y eliminar los problemas que aún persistan en los procesos de producción. Los productos fabricados durante la producción de transición en ocasiones se suministran a clientes preferentes y se evalúan con sumo cuidado para identificar cualquier falla que pudiera restar. El paso de la producción de transición a la constante suele ser gradual. En algún punto de la transición, el producto se *lanza* y queda disponible para su distribución generalizada.

El proceso de desarrollo que describe la ilustración 3.1 es genérico, y los procesos particulares varían de acuerdo con el contexto único de la empresa. El proceso genérico es más común en una situación donde *el mercado lo jala*. Es decir, la empresa inicia el desarrollo del producto ante una oportunidad del mercado y, a continuación, utiliza las tecnologías disponibles existentes que se requieren para satisfacer la necesidad del mercado (es decir, el mercado "jala" las decisiones del desarrollo). Además de los procesos genéricos jalados por el mercado, existen algunas variantes comunes y corresponden a lo siguiente: productos *impulsados por tecnología*, productos de *plataforma*, productos de *proceso intensivo*, productos *personalizados*, productos de *alto riesgo*, productos de *elaboración rápida* y *sistemas complejos.* A continuación se describe cada una de estas situaciones. La ilustración 3.2 resume las características de estas situaciones y las desviaciones resultantes del proceso genérico.

Productos impulsados por tecnología En el caso de estos productos, una empresa inicia con una nueva tecnología propia y busca un mercado adecuado para aplicarla (es decir, la tecnología "impulsa" el desarrollo). Gore-Tex, lámina expandida de teflón fabricada por W.L. Gore & Associates, es un buen ejemplo de un producto impulsado por la tecnología. La compañía ha creado decenas de productos que incorporan Gore-Tex, como venas artificiales para cirugía vascular (vea la foto), aislantes para cables eléctricos de alto desempeño, tela para ropa deportiva, hilo dental y forros para bolsas de gaitas.



Productos de plataforma Un producto de plataforma se elabora en torno a un subsistema tecnológico existente (una *plataforma* tecnológica). Algunos ejemplos son el motor híbrido del Prius de Toyota, el sistema operativo Vista de Microsoft y el sistema de imágenes de video

ILUSTRACIÓN 3.2 Resumen de variantes del proceso genérico de desarrollo de producto.

Tipo de proceso	Descripción	Características distintivas	Ejemplos
Genéricos (productos jalados por el mercado)	El equipo empieza con una oportunidad del mercado y selecciona las tecnologías adecuadas para satisfacer las necesidades de los clientes	El proceso suele incluir diversas fases de planeación distintiva, desarrollo de concepto, diseño de sistema, diseño detallado, pruebas y afinación, y producción de transición	Artículos deportivos, muebles, herramientas
Productos impulsados por tecnología	El equipo empieza con una nueva tecnología y después encuentra un mercado adecuado	La fase de planeación implica casar las tecnologías y el mercado; el desarrollo del concepto supone una tecnología dada	Ropa impermeable de Gore-Tex, sobres Tyvek
Productos de plataforma	El equipo supone que el nuevo producto se elaborará en torno a un subsistema tecnológico establecido	El desarrollo del concepto supone una plataforma tecnológica probada	Aparatos electrónicos de consumo, computadoras, impresoras
Productos de proceso intensivo	Las características del producto están muy limitadas por el proceso de producción	Un proceso existente de producción se debe especificar desde el principio o tanto el producto como el proceso se deben desarrollar juntos desde el principio	Frituras, cereales para el desayuno, productos químicos, semiconductores
Productos personalizados	Los nuevos productos son pequeñas variantes de configuraciones existentes	La similitud de los proyectos permite un proceso de desarrollo agilizado y muy estructurado	Motores, interruptores, baterías, recipientes
Productos de alto riesgo	La incertidumbre técnica o la del mercado genera un elevado peligro de fracaso	Se identifican los riesgos desde el principio y se les da seguimiento a lo largo del proceso. Las actividades de análisis y de pruebas se desempeñan tan pronto como sea posible	Productos farmacéuticos, sistemas espaciales
Productos de elaboración rápida	La rápida creación de modelos y prototipos permiten muchos ciclos de diseño-construcción-prueba	Las fases del diseño detallado y las pruebas se repiten varias veces hasta que el producto queda terminado o se agota el tiempo/presupuesto	Software, teléfonos celulares
Sistemas complejos	Los sistemas se descomponen en varios subsistemas y muchos componentes	Muchos equipos, que trabajan en paralelo, desarrollan los subsistemas y componentes, y ello va seguido de la integración y validación del sistema	Aviones, motores de aviones jet, automóviles

de las cámaras Canon. Se realizaron colosales inversiones para desarrollar estas plataformas y por ende se trata de incorporarlas a todos los productos posibles. En cierto sentido, los productos de plataforma son muy parecidos a los impulsados por la tecnología, porque el equipo empieza la actividad del desarrollo a partir del supuesto de que el concepto del producto incluye una tecnología particular. La principal diferencia es que una plataforma tecnológica ya demostró su utilidad en el mercado para satisfacer las necesidades de los clientes. En muchos casos, la empresa puede suponer que la tecnología también será útil en mercados relacionados. Es mucho más sencillo desarrollar productos creados sobre plataformas tecnológicas que hacerlo a partir de cero. Por lo anterior, y porque se pueden compartir costos entre varios productos, una empresa tal vez ofrezca un producto de plataforma en mercados que no justificarían el desarrollo de una tecnología única.

Productos de proceso intensivo Algunos ejemplos de productos de proceso intensivo son los semiconductores, alimentos, químicos y papel. En el caso de estos productos, el proceso de producción tiene repercusiones en las propiedades del producto, de modo que el diseño del producto no se puede separar del diseño del proceso de producción. En muchos casos, los productos de un proceso intensivo se elaboran en volúmenes muy grandes y son bienes a granel, en lugar de unidades independientes. Con frecuencia, el nuevo producto y el nuevo proceso se desarrollan en forma simultánea. Por ejemplo, en el caso del cereal de desayuno o las frituras en bolsa, la creación de una nueva figura requiere actividades de desarrollo de producto y también de proceso. En otros casos, el proceso existente limita el diseño del producto en razón de sus capacidades. Por ejemplo, puede ser que un nuevo producto de papel se manufacture en una fábrica de papel dada, o un nuevo aparato semiconductor, en una instalación existente que fabrica discos.

Productos personalizados Los productos personalizados son pequeñas variantes de una configuración estándar y por lo general se crean por pedido específico de un cliente. Algunos ejemplos son interruptores, motores, baterías y contenedores. El desarrollo de estos productos consiste sobre todo en establecer los valores de las variables del diseño, como las dimensiones físicas y los materiales. Las compañías pueden ser muy aptas para producir con rapidez estos productos personalizados mediante un diseño muy estructurado y un proceso de desarrollo estructurado en torno a las capacidades del proceso.

Productos de alto riesgo Los productos de alto riesgo son los que por lo normal entrañan una enorme incertidumbre respecto de la tecnología o el mercado, por lo cual existe un considerable riesgo técnico o de mercado. El proceso genérico del desarrollo de productos se modifica para afrontar situaciones de gran riesgo con medidas para atacar los riesgos más grandes desde las primeras etapas de la creación del producto. Por lo general esto requiere que algunas actividades de diseño y de prueba se efectúen más pronto dentro del proceso. Por ejemplo, si existe una gran incertidumbre respecto del desempeño técnico del producto, entonces es sensato crear modelos que funcionen con las características fundamentales y probarlos muy pronto durante el proceso. Para garantizar el éxito de alguna de las soluciones se pueden explorar múltiples caminos de solución al mismo tiempo. Las revisiones del diseño deben evaluar los niveles de riesgo con regularidad, con la expectativa de reducir el riesgo a la larga, pero no con afán de posponerlo.

Productos de elaboración rápida Para el desarrollo de algunos productos, como software y muchos productos electrónicos, la creación y las pruebas de modelos de prototipos es ya un proceso tan rápido que el ciclo de diseño-construcción-prueba se repite muchas veces. La fase del diseño del sistema (que en este proceso sigue a la de desarrollo del concepto) entraña la descomposición del producto en características clasificadas de acuerdo con su prioridad grande, mediana o escasa. Va seguida de varios ciclos de actividades de diseño, construcción, integración y prueba, a partir de los puntos de mayor prioridad. El proceso aprovecha el ciclo veloz de los prototipos con el resultado de cada ciclo para saber cómo modificar las prioridades del ciclo siguiente. Los clientes pueden participar en el proceso de las pruebas. Cuando se agota el tiempo o el presupuesto, todas las características de elevada o mediana prioridad por lo general se incorporaron al producto en evolución, y las características de escasa prioridad pueden omitirse hasta la siguiente generación del producto.

Sistemas complejos Los productos de escala más grande, como automóviles y aviones, son sistemas complejos compuestos por muchos subsistemas y componentes en interacción mutua. Cuando se desarrollan estos sistemas, las modificaciones al proceso genérico del desarrollo de productos abordan diversas cuestiones relativas al sistema. La fase de creación del concepto considera la arquitectura del sistema entero y es posible que se consideren múltiples arquitecturas como conceptos que compiten por el sistema general. El diseño del sistema es crítico. En esta fase, el sistema se divide en subsistemas, y estos, en muchos componentes. La creación de cada componente se asigna a distintos equipos. Otros más tienen el reto especial de integrar los componentes a los subsistemas, y estos al sistema general. El diseño detallado de los componentes es un proceso (muchas veces llamado **ingeniería concurrente**) simultáneo y cuenta con muchos equipos de desarrollo separados. Los especialistas en ingeniería de sistemas administran las interacciones de los componentes y los subsistemas. La fase de pruebas y afinación no solo incluye la integración del sistema, sino múltiples pruebas y la validación del producto.

Ingeniería concurrente

Análisis económico de los proyectos de desarrollo de productos[3]

Un equipo de desarrollo de productos de Polaroid Corporation estaba a punto de terminar la creación de una nueva impresora de fotografías, la CI-700. Esta impresora produciría fotografías instantáneas a todo color a partir de imágenes digitales guardadas en una computadora. Los mercados principales para este producto son las industrias de artes gráficas, seguros y bienes raíces. Durante el desarrollo de la CI-700, el equipo de Polaroid afrontó varias decisiones que sabía tendrían fuertes repercusiones en la rentabilidad del producto:

- ¿El equipo debía tomarse más tiempo para el desarrollo a efecto de que el producto fuera apto para muchas "plataformas" de computadoras, o la demora en llevar la CI-700 al mercado generaría costos excesivos?
- ¿El producto debía utilizar medios impresos (película instantánea) del negocio de cámaras de consumo de Polaroid o un nuevo medio impreso especializado de primera calidad?
- ¿El equipo debía incrementar el gasto del desarrollo a efecto de aumentar la fiabilidad de la CI-700?

Es importante recordar que el análisis económico solo capta los factores que se pueden medir, y que los proyectos suelen tener implicaciones negativas y positivas difíciles de cuantificar. Además, es difícil que un análisis económico capte las características de un entorno dinámico y competitivo. El análisis económico es muy útil al menos en dos circunstancias:

1. Los hitos de proseguir/no proseguir. Por ejemplo, ¿se debe desarrollar un producto para aprovechar una nueva oportunidad de mercado? ¿Se debe poner en práctica un concepto seleccionado? ¿Se debe lanzar el producto desarrollado? Estas decisiones suelen presentarse al final de cada fase de desarrollo.
2. Decisiones relativas al diseño y desarrollo de las operaciones. Las decisiones operativas implican preguntas como: ¿Se deben gastar 100 000 dólares en contratar a una tercera empresa para que construya este componente y así ahorrar dos meses de desarrollo? ¿Se debe lanzar el producto en cuatro meses con un costo unitario de 450 dólares o esperar seis meses, cuando se podrá reducir el costo a 400 dólares?

El consejo es elaborar al principio el modelo financiero de un caso base que permita apreciar las implicaciones del proyecto de desarrollo de un producto. A continuación se explica cómo hacerlo.

Creación de un modelo financiero de un caso

La creación del modelo de un caso consiste en estimar los tiempos y la magnitud de los flujos futuros de efectivo y, a continuación, en calcular el valor presente neto (VPN) de esos flujos. Los tiempos y la magnitud de los flujos de efectivo se calculan al fusionar el programa del proyecto con el presupuesto del proyecto, los pronósticos del volumen de ventas y los costos estimados de producción. El grado de detalle de los flujos de efectivo debe ser lo bastante general para que resulte cómodo trabajar con él, pero también debe tener suficientes detalles que faciliten una buena toma de decisiones. Las categorías más básicas del flujo de efectivo de un proyecto común de desarrollo de un nuevo producto son:

- Costo de desarrollo (todos los costos remanentes, de diseño, de pruebas y de afinación hasta el momento de la producción de transición).
- Costo de la producción de transición.
- Costo de marketing y apoyo.
- Costo de producción.
- Ingresos por ventas.

[3] Adaptado de *ibid.*, pp. 308-319.

ILUSTRACIÓN 3.3 Programa del Proyecto CI-700 desde su concepción hasta su retiro del mercado.

	Año 1				Año 2				Año 3				Año 4			
Programa del Proyecto CI-700	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
Desarrollo																
Transición																
Marketing y apoyo																
Producción y ventas																

El modelo financiero se simplificó para que solo incluya los principales flujos de efectivo habituales en la práctica, pero en términos conceptuales es idéntico a modelos más complejos. Los valores numéricos de los flujos de efectivo provienen de los presupuestos y otros estimados proporcionados por el equipo de desarrollo, la organización manufacturera y la organización de marketing. Se ilustra el enfoque con datos semejantes a los que habría utilizado el equipo de Polaroid para crear la CI-700.

A continuación se presentan los costos estimados para el modelo de muestra:

Costo de desarrollo	5 millones de dólares
Costo de producción de transición	2 millones de dólares
Costo de marketing y apoyo	1 millón de dólares/año
Costo de producción por unidad	400 dólares/unidad
Volumen de producción y ventas	20 000 unidades/año
Precio unitario	800 dólares/unidad

En el modelo se supone que todos los ingresos y egresos anteriores a la fecha presente son costos perdidos y no son relevantes para calcular el VPN. Si no conoce bien la manera de calcular el VPN, consulte el apéndice C al final del libro.

Para completar el modelo es preciso reunir los estimados financieros con la información acerca de los tiempos, para lo cual se considera el programa del proyecto y el plan de ventas. La ilustración 3.3 presenta la información respecto de los tiempos del proyecto para la CI-700 en forma de gráfica de Gantt. En casi todos los proyectos, un incremento de meses o trimestres es lo más indicado. Se estima que el tiempo que falta para llegar al mercado es cinco trimestres, y se anticipa que las ventas del producto durarán 11 trimestres.

ILUSTRACIÓN 3.4 Fusión de datos financieros y programa del proyecto en un informe de flujo de efectivo.

Microsoft Excel - Ch5 - Economic Analysis.xls

File Edit View Insert Format Tools Data Window Help — Type a question for help

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1		Year 1				Year 2				Year 3				Year 4			
2	CI-700 Project Schedule	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
3	Development																
4	Ramp-up																
5	Marketing and support																
6	Production and sales																
7																	
8		Year 1				Year 2				Year 3				Year 4			
9	($ values in thousands)	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
10																	
11	Development cost	-1,250	-1,250	-1,250	-1,250												
12	Ramp-up cost				-1,000	-1,000											
13	Marketing and support cost					-250	-250	-250	-250	-250	-250	-250	-250	-250	-250	-250	-250
14	Production volume						5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
15	Unit production cost						-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4
16	Production cost						-2,000	-2,000	-2,000	-2,000	-2,000	-2,000	-2,000	-2,000	-2,000	-2,000	-2,000
17	Sales volume						5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
18	Unit price						0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
19	Sales revenue						4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
20																	
21	Period cash flow	-1,250	-1,250	-1,250	-2,250	-1,250	1,750	1,750	1,750	1,750	1,750	1,750	1,750	1,750	1,750	1,750	1,750
22	PV Year 1, r = 10%	-1,220	-1,190	-1,161	-2,038	-1,105	1,509	1,472	1,436	1,401	1,367	1,334	1,301	1,269	1,239	1,208	1,179
23																	
24	Project NPV	8,003															

Economic Analysis

Un método sencillo para organizar el flujo de efectivo del proyecto es con una hoja de cálculo. Las filas representan las distintas categorías del flujo de efectivo, y las columnas, los periodos sucesivos. Para no complicar las cosas se supone que el índice del flujo de efectivo en todas las categorías es constante a lo largo de un periodo cualquiera. Por ejemplo, el gasto total de desarrollo de 5 millones de dólares durante un año se asigna en montos iguales a cada uno de los cuatro trimestres. Por supuesto, en la práctica los valores se ordenan de la manera que mejor represente el pronóstico del equipo de los flujos de dinero. Para obtener el total de ingresos del producto en cada periodo se multiplica la cantidad de ventas de unidades por el precio unitario. Asimismo, se multiplica la cantidad de unidades fabricadas por el costo de producción de la unidad para obtener el costo total de producción de cada periodo. La ilustración 3.4 presenta la hoja de cálculo resultante.

El cálculo del VPN requiere determinar el flujo de efectivo neto por periodo y, a continuación, convertir este flujo a su valor presente (su valor en dólares actuales), como muestran las filas finales de la ilustración 3.5. Por ejemplo, piense en los cálculos del primer trimestre del año 3:

1. El flujo de efectivo del periodo es la suma de entradas y salidas.

Costo de marketing	$–250 000
Ingresos de producto	4 000 000
Costo de producción	–2 000 000
Flujo de efectivo del periodo	$1 750 000

2. El valor presente del flujo de efectivo de este periodo descontado a 10% por año (2.5% por trimestre) remontado al primer trimestre del año 1 (un total de nueve trimestres) es de 1 401 275 dólares. (El Suplemento A repasa los conceptos y funciones de la hoja de cálculo para determinar el valor presente, el valor presente neto y la tasa de descuento.)

$$\frac{\$1\ 750\ 000}{1.025^9} = \$1\ 401\ 275$$

3. El VPN del proyecto es la suma de los flujos de efectivo descontados por cada periodo, es decir, 8 002 819 dólares. (Observe en la hoja de cálculo que las cifras se redondean al millar más cercano.)

El VPN de este proyecto, según el modelo del caso, es positivo, por lo cual el modelo apoya y es congruente con la decisión de proseguir el desarrollo. Con estos modelos también se sustentan decisiones de inversiones importantes. Por ejemplo, suponga que Polaroid tiene que decidir entre dos instalaciones de producción con costos distintos de transición, producción y apoyo. El equipo crearía un modelo para cada uno de los dos escenarios y, a continuación, compararía los VPN. El escenario con el VPN más alto apoyaría mejor la decisión de inversión. A continuación, se aborda el análisis de sensibilidad como técnica para estudiar múltiples escenarios de decisiones de proseguir con el desarrollo del producto.

ILUSTRACIÓN 3.5 Sensibilidad de los costos de desarrollo de la CI-700.

Cambio del costo de desarrollo %	Costo de desarrollo (miles $)	Cambio del costo de desarrollo (miles $)	Cambio del VPN (%)	VPN (miles $)	Cambio del VPN (miles $)
50	7 500	2 500	–29.4	5 791	–2 412
20	6 000	1 000	–11.8	7 238	–964
10	5 500	500	-5.9	7 721	–482
Caso	5 000	Caso	0.0	8 203	0
–10	4 500	–500	5.9	8 685	482
–20	4 000	–1 000	11.8	9 167	964
–30	2 500	–2 500	29.4	10 015	2 412

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD PARA ENTENDER LOS RETOS DE UN PROYECTO

El análisis de la sensibilidad utiliza el modelo financiero para contestar preguntas del tipo "qué pasaría si..." mediante el cálculo del cambio del VPN correspondiente a un cambio en los factores del modelo. Por ejemplo, considere la sensibilidad del VPN ante los cambios de costo de desarrollo. Si se aplican cambios incrementales al costo de desarrollo con los demás factores constantes, se observa el efecto incremental en el VPN del proyecto. Por ejemplo, ¿cuál es el cambio del VPN si el costo de desarrollo disminuye 20%? Un decremento de 20% reduce el gasto total de desarrollo de 5 millones de dólares a 4 millones de dólares. Si el tiempo de desarrollo se limita a un año, entonces el gasto por trimestre disminuye de 1.25 millones de dólares a 1 millón de dólares. Este cambio se asienta simplemente en el modelo y se calcula el VPN resultante.

Un decremento de 20% en el costo de desarrollo incrementa el VPN a 9 167 000 dólares. Esto representa un incremento de 964 000 dólares y otro de 11.8% en el VPN. El caso es muy simple: se supone que se alcanzan las mismas metas del proyecto si se gasta 1 millón de dólares menos en el desarrollo y, por tanto, se incrementa el valor presente del proyecto en 1 millón de dólares en razón del ahorro generado a lo largo de un periodo de un año. La ilustración 3.5 presenta el análisis de la sensibilidad del costo de desarrollo de la CI-700 ante una serie de cambios.

Se pueden crear muchos escenarios del proyecto, entre ellos:

1. **Tiempo de desarrollo del proyecto.** Considere el efecto de un incremento de 25% en el tiempo de desarrollo del proyecto; lo incrementaría de cuatro trimestres a cinco y retrasaría el inicio de la producción de transición, las actividades de marketing y las ventas del producto.
2. **Volumen de ventas.** El incremento de ventas es un camino muy sólido para incrementar la utilidad. Por supuesto que un decremento de ventas provocaría pérdidas sustantivas. Por ejemplo, considere el efecto de un incremento de 25% y un decremento de 25% en la rentabilidad del nuevo producto.
3. **Costo del producto o precio de venta.** Considere que un incremento de 1 dólar en el precio o un decremento de 1 dólar en el costo producen un incremento de 1 dólar en la utilidad. Desde luego, el incremento de 1 dólar en el precio puede repercutir en la demanda. Con frecuencia es muy útil estudiar los escenarios de estos parámetros.
4. **Costo de desarrollo.** Un dólar gastado o ahorrado en el costo de desarrollo tiene un valor equivalente al valor presente del dólar para el valor del proyecto.

Los modelos financieros y los análisis de sensibilidad son instrumentos muy útiles para sustentar las decisiones relativas al desarrollo de productos, pero las técnicas tienen limitaciones importantes. Muchas personas sostienen que los análisis financieros rigurosos son necesarios para que haya disciplina y control en el proceso de creación de un producto. Otras argumentan que el análisis financiero solo aborda cantidades mensurables y que muchas veces es muy difícil prever esos valores con exactitud. El análisis depende de la calidad de los supuestos que se incluyan en el modelo, por lo cual es preciso considerar estas limitaciones; las más importantes pueden ser las que argumentan que las actividades asociadas a los modelos económicos resultan muy caras y tal vez disminuyan en grado sustantivo la productividad asociada a las actividades reales de la creación del producto. Su argumento es que el tiempo de desarrollo que podría ser productivo se dedica a preparar análisis y juntas, y que el efecto acumulado de este tiempo dedicado a la planeación y revisión incrementa en gran medida los costos de desarrollo.

Los equipos de desarrollo deben comprender las ventajas y limitaciones de las técnicas y evitar una burocracia paralizante en torno a la realización de nuevos productos. El desarrollo de nuevos productos debe ser un proceso que fomente la innovación y la creatividad. El objeto de los modelos económicos es tan solo garantizar que el equipo tome decisiones atinadas en términos económicos.

Diseño pensado en el cliente

Antes de tratar con detalle el porqué y el cómo del diseño y la producción de artículos es conveniente reflexionar (o tal vez, para ser exactos, editorializar) sobre el tema del diseño del producto

desde el punto de vista del usuario. En años recientes, las empresas han estado tan inmersas en las actividades y adelantos tecnológicos (sobre todo en el terreno de la electrónica) que, en algún punto del camino, olvidaron a los clientes. El término *diseño industrial* se refiere a diseñar a partir de la estética y el usuario. IDEO es una de las empresas de diseño industrial más exitosas del mundo. La sección titulada "IDEO, una empresa de diseño e innovación", al principio de este capítulo, describe su proceso singular.

Quizás el diseño industrial sea el área más olvidada por los fabricantes. Cuando los usuarios se sienten frustrados con algún producto (al fijar las opciones en el teléfono celular, reparar un automóvil, ajustar el termostato de un horno computarizado u operar un teléfono de tarjeta en el aeropuerto), casi todos exclaman: "¡Deberían obligar a usar esto al cretino que lo diseñó!" Muchas veces, las piezas son inaccesibles, la operación es demasiado complicada o no existe una lógica para fijar instrucciones o controlar la unidad. En algunas ocasiones se presentan condiciones incluso más graves: los bordes metálicos son filosos y los consumidores se cortan la mano tratando de llegar a un punto para hacer un ajuste o una reparación. Muchos productos tienen demasiadas características tecnológicas, muchas más de las necesarias. Casi todas las personas que compran productos electrónicos no los saben operar en su totalidad y solo utilizan una pequeña parte de las características que ofrecen. Esto ocurre porque los módulos de computadora son muy baratos y, por lo mismo, añadir más controles cuesta casi nada. Incluir un reloj con alarma o una calculadora en un horno de microondas cuesta muy poco. ¿Pero los necesita? ¿Qué ocurre cuando se pierde el manual del usuario de alguno de estos complejos aparatos? ¿Por qué brinda tan poca ayuda el ícono de "Ayuda" de las computadoras? ¿Dónde quedó la voz del cliente?

Despliegue de la función de calidad

Despliegue de la función de calidad (QFD)

Casa de la calidad

Un enfoque para que la voz del cliente tenga cabida en la especificación del diseño de un producto es el **despliegue de la función de calidad (QFD)**.[4] Toyota Motor Corporation ha declarado que la reducción de los costos de sus autos en más de 60%, en razón de la considerable reducción de los tiempos de diseño, se debe a este enfoque, el cual utiliza equipos interfuncionales para marketing, ingeniería de diseño y producción.

El proceso del QFD empieza por estudiar y escuchar a los clientes con el fin de determinar las características de un producto superior. Con base en las investigaciones de mercado, se definen las necesidades y preferencias de los consumidores de un producto para dividirlas a continuación en categorías llamadas *requerimientos del cliente*. Un ejemplo es el caso del fabricante de automóviles que quiere mejorar el diseño de la puerta de un auto. Con base en encuestas y sondeos de opinión, establece que dos requerimientos importantes de los clientes en relación con una puerta de automóvil son que "permanezca abierta en una colina" y que "sea fácil de cerrar desde fuera". Una vez definidos los requerimientos se ponderan de acuerdo con su importancia relativa para el cliente. Así, se pide al consumidor que compare y califique los productos de la compañía frente a los de sus competidoras. Este proceso ayuda a la compañía a determinar las características del producto importantes para el consumidor y evaluar su producto en relación con otros. El resultado final es que se sabe mejor cuáles son las características del producto que se deben mejorar y que se enfoca en ellas.

La información acerca de los requerimientos de los clientes sienta las bases para una matriz llamada **casa de la calidad** (vea la ilustración 3.6). Cuando el equipo interfuncional del QFD construye una matriz de casa de la calidad usa la realimentación de los clientes para tomar decisiones de ingeniería, marketing y diseño. La matriz ayuda al equipo a traducir los requerimientos de los clientes a metas concretas de operaciones o ingeniería. Se determinan en conjunto las características importantes del producto y las metas de la mejoría, y se detallan

El QFD implica convertir las expectativas y demandas de clientes en objetivos más claros, que entonces se traducen en la especificación del vehículo. Por ejemplo, *Topspeed* observó que los pasajeros estaban incómodos si el auto se inclinaba más de 2 grados y la aceleración lateral pasaba de 13.2 pies por segundo en cada segundo (es decir, al cuadrado). Con estos datos se definieron criterios de diseño para los ingenieros encargados del chasís.

[4] El término *calidad* (en inglés) es en realidad una mala traducción de la palabra calidades en japonés, porque el DFC se utiliza ampliamente en el contexto de la administración de la calidad.

ILUSTRACIÓN 3.6 Matriz terminada de la casa de la calidad para la puerta de un automóvil.

Correlación:
◎ Muy positiva
○ Positiva
× Negativa
✳ Muy negativa

Requerimientos del cliente / Importancia para el cliente / Características técnicas		Energía necesaria para cerrar la puerta	Resistencia del empaque de la puerta	Comprobar la fuerza en terreno plano	Energía necesaria para abrir la puerta	Transmisión acústica, ventana	Resistencia al agua
Fácil de cerrar	7	◎	○				
Permanece abierta en una colina	5			◎			
Fácil de abrir	3		○		◎		
No le entra agua	3		◎				◎
No hace ruido al avanzar	2		○			○	
Ponderación de la importancia		10	6	6	9	2	3
Valores meta		Disminuir nivel de energía a 7.5 pies/lb	Mantener nivel actual	Disminuir fuerza a 9 lb	Reducir nivel de energía a 7.5 pies/lb	Mantener nivel actual	Mantener nivel actual
Evaluación técnica (5 es lo mejor) 5 4 3 2 1		B A X	BA X	B A X	B X A	BXA	BA X

Evauación competitiva
X = Nosotros
A = Cía. A
B = Cía. B
(5 es lo mejor)
1 2 3 4 5

Requerimiento	Evaluación competitiva
Fácil de cerrar	X AB
Permanece abierta en una colina	X AB
Fácil de abrir	XAB
No le entra agua	A X B
No hace ruido al avanzar	X A B

Escala de importancia:
Fuerte = 9
Media = 3
Débil = 1

Fuente: Tomado de J. R. Hauser y D. Clausing. "The House of Quality", *Harvard Business Review*, mayo-junio 1988, pp. 62-73.

dentro de la casa. El proceso propicia que distintos departamentos trabajen estrechamente unos con otros y el resultado es una mejor comprensión de las metas y cuestiones que interesan a los demás. No obstante, el beneficio más importante de la casa de la calidad es que ayuda al equipo a concentrarse en crear un producto que satisfaga a los clientes.

El primer paso para construir la casa de la calidad es elaborar una lista de los requerimientos de los clientes respecto del producto. Estos requerimientos se deben clasificar por orden de importancia. A continuación se pide a los clientes que comparen el producto con los de la competencia. Después se enlistan las características técnicas del producto. Estas características técnicas deben estar directamente relacionadas con los requerimientos de los clientes. Una evaluación de estas características sustenta o refuta la percepción que el cliente tiene del producto. A continuación, con los datos se evalúan las fortalezas y debilidades del producto en términos de sus características técnicas.

Análisis del valor/ingeniería del valor

Otra manera de tomar en cuenta a los clientes cuando se diseñan los productos es analizar el "valor" que encuentran en el producto final. Como es muy importante que el valor sea parte del diseño de los productos, se describe brevemente el análisis del valor y la ingeniería del valor. El objeto del **análisis del valor/ingeniería del valor (AV/IV)** es simplificar productos y procesos. Su meta es lograr un desempeño equivalente o mejor con un menor costo, al mismo tiempo que se conservan todos los requerimientos del funcionamiento que definió el cliente. Para lograrlo, el AV/IV identifica y elimina costos innecesarios. En términos técnicos, el AV se refiere a productos ya en producción y con él se estudian las especificaciones y requerimientos del producto tal como aparecen en los documentos de producción y solicitudes de compra. Por lo general, los departamentos de compras usan el AV como técnica para abatir costos. Cuando se efectúa antes de la etapa de producción, se considera que la ingeniería del valor es un método para evitar costos. Sin embargo, en la práctica, existe un enlace que va y viene entre los dos en el caso de un producto dado. Esto se debe a que los nuevos materiales, procesos, etc., requieren que se apliquen las técnicas del AV a los productos que ya se sometieron a la IV. El enfoque del análisis AV/IV implica lluvias de ideas con preguntas como:

Análisis del valor/ ingeniería del valor (AV/IV)

¿El artículo tiene algunas características de diseño innecesarias?
¿Es posible combinar dos o más piezas para formar una sola?
¿Cómo se puede disminuir el peso?
¿Existen piezas no estándares que se puedan eliminar?

En la siguiente sección se describe un enfoque más formal con que a menudo se guía el proceso del diseño de productos y de mejora del diseño.

Diseño para fabricación y montaje de productos

La palabra *diseño* tiene distintos significados. Para algunas personas, significa la estética de un producto, como la forma exterior de un automóvil o el color, la textura y la forma de la caja de un abrelatas. En otro sentido, *diseño* significa establecer los parámetros básicos de un sistema. Por ejemplo, antes de considerar los detalles, el diseño de una planta de energía significa establecer las características de diversas unidades, como generadores, bombas, calentadores, tubería de conexión, etcétera.

Otra interpretación de la palabra *diseño* es detallar los materiales, formas y tolerancia de las piezas individuales de un producto. Este será el tema de esta sección. Se trata de una actividad que empieza con bocetos de partes y piezas, y luego avanza a la estación de trabajo de diseño asistido por computadora (CAD, por sus iniciales en inglés; se abunda al respecto en el suplemento sobre tecnología de operaciones, al final de este libro), donde se producen los planos de la pieza con sus partes detalladas. Por lo general, estos planos se pasan a los ingenieros de producción y montaje, encargados de optimizar el proceso para fabricar el producto final. En esta etapa son frecuentes los problemas de producción y ensamble, y los cambios de diseño. Estos cambios muchas veces son profundos, generan gasto adicional considerable y retrasan la terminación del producto final.

Por tradición, la actitud de los diseñadores es: "Nosotros lo diseñamos y ustedes lo construyen", la cual se llama "enfoque en el muro", en cuyo caso el diseñador sentado de un lado del muro arroja el diseño sobre él para que lo reciban los ingenieros de producción. A continuación, estos ingenieros deben resolver los problemas que surgen porque ellos no participaron en las actividades del diseño. Una forma de superar este problema consiste en consultar a los ingenieros de producción durante la etapa de diseño. El trabajo en equipo resultante evita muchos posibles problemas. Estos equipos de ingeniería concurrente requieren instrumentos de análisis que les ayuden a estudiar los diseños propuestos y evaluarlos desde el punto de vista de la dificultad y el costo de manufactura.

La creación de prototipos rápidos, combinada con los instrumentos del DPFM, no solo determina si un producto cumple con las funciones de su diseño, sino qué tan bien lo hará y durante cuánto tiempo. Si se aplica al principio del ciclo del diseño, permite diseños más robustos para su manufactura, montaje y uso del producto, y efectuar cambios críticos antes de aplicar el costoso maquinado. La estética y funcionalidad de un producto se consideran juntas y dan por resultado productos construidos con una funcionalidad óptima, materiales correctos y armado eficiente.

¿CÓMO FUNCIONA EL DISEÑO PARA LA FABRICACIÓN Y EL MONTAJE (DPFM)?

Sigamos un ejemplo desde la etapa de concepción del diseño.[5] La ilustración 3.7 presenta la pieza accionada por un motor que se requiere para percibir y controlar su posición sobre una guía de dos rieles. Por ejemplo, quizás el motor controla una ventana eléctrica en un establecimiento de McDonald's que ofrece servicio en su coche. El motor debe estar totalmente cubierto y tener una cubierta removible que permita el acceso para ajustar el sensor de posición. Un requerimiento mayor es que debe contar con una base rígida, diseñada para permitir el deslizamiento ascendente y descendente por la guía de rieles, que será el soporte del motor y el sensor de ubicación. El motor y el sensor tienen cables que los conectan a la unidad de control y a la fuente de energía.

En la ilustración 3.8 se propone una solución. Se insertaron dos casquillos a la base para que los orificios no se desgasten. El motor se sujetó a la base con dos tornillos y hay un orificio por el que pasa el sensor cilíndrico, el cual se sujetó con un tornillo. Las cubiertas requeridas se presentan en forma de placa terminal, atornillada a dos topes a su vez atornillados a la base. Para que los cables no produzcan un corto al tocar la cubierta de metal cuando se desgasten, en la placa terminal se insertó un casquillo de plástico por el que pasa el cable. Por último, sobre la pieza entera por la parte inferior de la base entra una tapa deslizable con forma de caja y se fija con dos tornillos a la base y dos a la cubierta final.

Se deben armar las 19 piezas del diseño actual para formar la pieza accionada por un motor. Las piezas son dos subconjuntos (motor y sensor), ocho piezas principales adicionales (cubierta, base, dos cojinetes, dos topes, un casquillo de plástico y la placa terminal) y nueve tornillos.

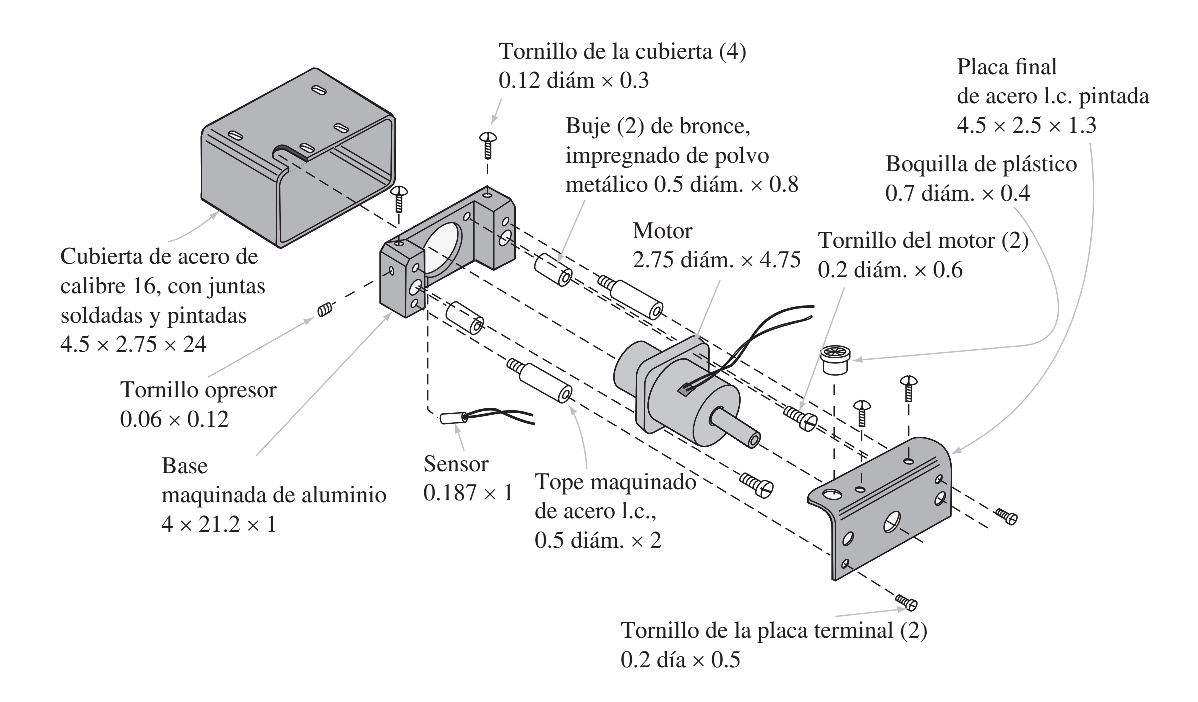
Las mejoras más importantes en el DPFM provienen de la simplificación del producto, lo que redujo la cantidad de piezas sueltas. Para que el diseñador reduzca el número de piezas, la metodología presenta tres criterios de estudio de cada pieza por añadir al producto durante el montaje:

1. Durante el funcionamiento del producto, ¿la pieza se mueve en relación con las otras piezas ya armadas?
2. ¿La pieza debe ser de material distinto al de las piezas ya armadas o debe quedar aislada de ellas?

ILUSTRACIÓN 3.7 Configuración del conjunto requerido accionado por un motor.

[5] Ejemplo adaptado de G. Boothroyd, P. Dewhurst y W. Knight, *Product Design for Manufacture and Assembly*, Nueva York, Marcel Dekker, 1994, pp. 5-10.

ILUSTRACIÓN 3.8 Diseño propuesto para accionamiento por motor.



3. ¿La pieza debe ir separada de todas las demás para que el producto se pueda desarmar para ajustarlo o darle mantenimiento?

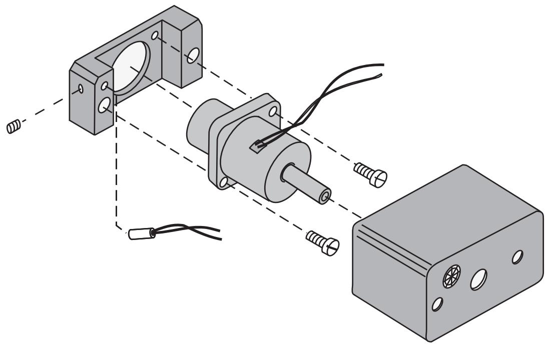
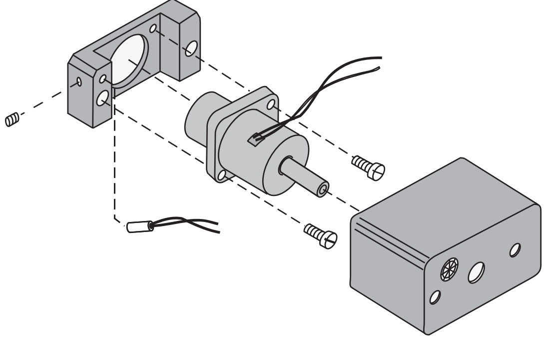
La aplicación de estos criterios al diseño propuesto continuaría como sigue:

1. **Base.** Como es la primera pieza que se arma, no se puede combinar con ninguna otra pieza, por que en teoría es una pieza necesaria.
2. **Cojinetes (2).** No satisfacen el segundo criterio. En teoría, la base y los cojinetes pueden ser del mismo material.
3. **Motor.** Es una subpieza que se compra a un proveedor. Los criterios no son aplicables.
4. **Tornillos del motor (2).** En la mayor parte de los casos, no es necesario tener piezas separadas para sujetar algo porque por lo general se puede integrar al diseño alguna forma de sujeción (por ejemplo, la pieza puede entrar a presión).
5. **Sensor.** Se trata de otra subpieza estándar.
6. **Tornillo opresor.** Similar al punto 4, por lo cual no sería necesario.
7. **Topes (2).** No cumplen con el segundo criterio; pueden incorporarse a la base.
8. **Placa terminal.** Debe ir separada para desarmarse (se aplica el criterio 3).
9. **Tornillos de la placa terminal (2).** No se necesitarían.
10. **Casquillo de plástico.** Puede ser del mismo material que la placa terminal y por ende iría combinado con ella.
11. **Tapa.** Puede ir combinada con la placa terminal.
12. **Tornillos de la tapa (4).** No son necesarios.

A partir de este análisis se ve que si los subconjuntos del motor y el sensor se colocan a presión o se atornillan a la base, y si se diseña una cubierta de plástico a presión, entonces solo se necesitarían cuatro elementos separados, en lugar de 19. En teoría, estos cuatro elementos representan el número mínimo necesario para cumplir con las restricciones del diseño del producto.

En este punto, justificar la necesidad de incluir las piezas que exceden el mínimo depende del equipo de diseño. La justificación puede basarse en consideraciones prácticas, técnicas o económicas. En este ejemplo cabría argumentar que se necesitan dos tornillos para fijar el motor y un tornillo opresor para sujetar el sensor, porque otra forma no sería práctica para un producto de bajo volumen como este. No obstante, el diseño de estos tornillos se mejoraría con puntos piloto para facilitar el montaje.

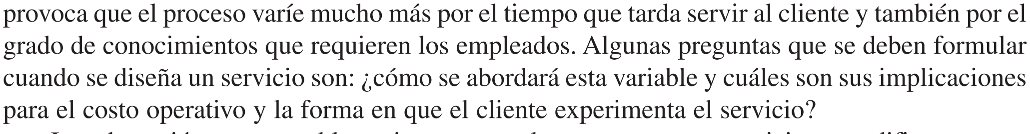
ILUSTRACIÓN 3.9
Esquema rediseñado de pieza accionada por un motor (DFA).

La ilustración 3.9 es un esquema de la pieza accionada por un motor rediseñada, y ahora solo requiere siete partes separadas. Observe cómo se eliminaron piezas. La nueva cubierta de plástico se diseñó de modo que entra a presión sobre la placa de la base. Es mucho más fácil armar este nuevo producto y costará mucho menos porque lleva menos piezas.

Diseño de productos para servicio

Como se vio en la sección anterior, el diseño detallado de productos fabricados se concentra en reducir el número de partes de una pieza y en diseñar el producto de manera que se fabrique con eficiencia. Los productos de los servicios son muy diferentes, pues el cliente tiene una participación directa en el proceso. Esta participación del cliente provoca que el proceso varíe mucho más por el tiempo que tarda servir al cliente y también por el grado de conocimientos que requieren los empleados. Algunas preguntas que se deben formular cuando se diseña un servicio son: ¿cómo se abordará esta variable y cuáles son sus implicaciones para el costo operativo y la forma en que el cliente experimenta el servicio?



Servicio

La adaptación es un problema importante al crear un nuevo servicio o modificar uno ya existente. Frei plantea los tres factores generales siguientes para determinarlo: experiencia de servicio, adaptación operacional y repercusiones en las finanzas.[6]

1. **Adaptación de la experiencia de servicio.** Esto significa que el nuevo servicio debe ajustarse a la experiencia de servicio del cliente. Por ejemplo, Disneylandia empezó a distribuir a empleados con cámaras por todo el parque en lugares estratégicos que se ofrecen para tomar fotos a clientes, que podrán ver después en internet. Como parte de la experiencia general del servicio que promete realizar y registrar los sueños, esto se ajusta muy bien a la experiencia del servicio. Sin embargo, algunos servicios, como un lavado de autos en un restaurante en la zona de espera, se complementan menos.
2. **Acoplamiento de las operaciones.** Incluso las mejores ideas de servicios necesitan el apoyo de las operaciones para llevarlas a cabo. Un ejemplo serían los supermercados que decidieron ofrecer entregas a domicilio. Aunque esto parece una extensión lógica de la experiencia del servicio, su operación requiere habilidades enteramente nuevas, como elegir los perecederos que solicitan los clientes y entregar alimentos congelados.
3. **Repercusiones en las finanzas.** El diseño y la aplicación de un nuevo servicio resultan costosos y deben justificarse en términos financieros. Si bien la introducción de un nuevo servicio se suele ver en el sentido positivo de que producirá ganancias, también se puede ver como algo para no perder clientes valiosos.

Una experiencia de servicio oportuna: un empleado del parque toma una fotografía a visitantes de Disneylandia.

Complejidad y divergencia Una forma muy útil para analizar si un nuevo servicio embona con las operaciones consiste en especificar la *complejidad* y *divergencia* entre el proceso del servicio propuesto y el del servicio básico. La complejidad se refiere al número de pasos que implica un servicio y las posibles medidas que se pueden tomar en cada paso. La divergencia se refiere al número de formas en que varía la interacción entre el cliente y el prestador del servicio en cada paso de acuerdo con las necesidades y capacidades de cada uno de ellos. El resultado puede ser una combinación de mayor complejidad/divergencia en algunos pasos y menor en otros. Lo anterior sirve para determinar los distintos recursos requeridos, como las habilidades de los trabajadores, la distribución y los controles del proceso. Por ejemplo, el restaurante familiar hipotético que presenta la ilustración 3.10

[6] Frances Frei, "Designing New Service Models", HBS, núm. 606-031, Boston, Harvard Business School Publishing, 2006).

ILUSTRACIÓN 3.10 Opciones para la estructura de un restaurante familiar.[7]

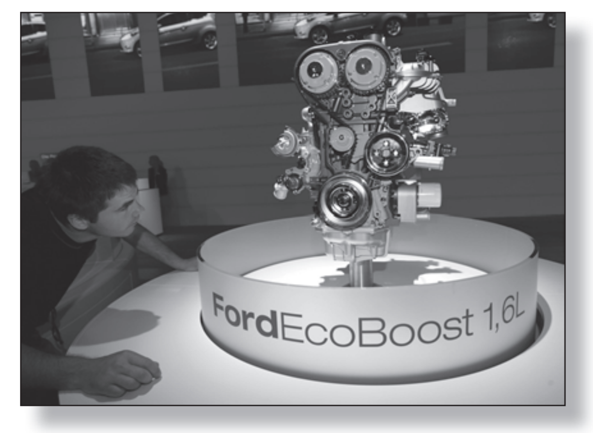
Nombre del proceso	Menor complejidad/divergencia	Proceso actual	Mayor complejidad/divergencia
Reservaciones	Sin reservaciones	Con reservaciones	Elección de mesas específicas
Acomodo	Los comensales eligen su mesa	Un anfitrión acompaña a los comensales a la mesa	El capitán acompaña a los comensales a su mesa, saca las sillas y les coloca las servilletas sobre el regazo
Cartas	Sin carta	Cartas en la mesa	Recita la carta, describe los platos fuertes y lo s especiales
Pan	Sin pan en las mesas	Pan y mantequilla en las mesas	Distintos panes frescos y botanas en las mesas
Órdenes	Los comensales hacen fila en un buffet	El mesero toma las órdenes	El capitán toma las órdenes personalmente en las mesas
Ensaladas	Mesa de ensaladas	Según las ordenadas	Preparadas individualmente junto a la mesa
Plato fuerte	El buffet ofrece platos fuertes	Plato fuerte (15 opciones)	Expandir a 20 opciones; incluir flameado o dorado de platillos, quitar las espinas del pescado junto a la mesa
Postres	Mesa de postres	Mesa de postres (6 opciones)	Expandir a 12 opciones
Bebidas	Los comensales toman sus bebidas de la estación de bebidas	Bebidas (6 opciones)	Añadir cafés exóticos, carta de vinos, licores
Servicio en la mesa	Sin servicio	Servir las órdenes	Servicio con varios tiempos; pimienta molida a mano
Pago	Pago al entrar al buffet	Cobrar cuentas	Varias formas de pago, inclusive cuentas de abonados
Limpieza de las mesas	Se pide a los comensales que ellos mismos retiren los platos de la mesa	Garrotero limpia la mesa al final	Garrotero limpia la mesa durante la comida

considera la posibilidad de cambiar su servicio con la intención de crear un nuevo formato para el proceso. En el proceso actual, un formato de servicio mínimo presentaría menor complejidad/divergencia, mientras que un formato de escala alta tendría mayor complejidad/divergencia.

Ecodiseño[8]

Ecodiseño

El **ecodiseño** es la incorporación de consideraciones ambientales en el diseño y perfeccionamiento de productos o servicios. El ecodiseño es una extensión de los demás importantes requisitos considerados en el proceso de diseño, como calidad, costos, facilidad de manufactura, funcionalidad, durabilidad, ergonomía y estética. En consecuencia, los productos con ecodiseño son innovadores, tienen mejor rendimiento ambiental y son de una calidad al menos igual a la del estándar del mercado. Esto hace que el ecodiseño sea cada vez más importante para empresas y otorga claras ventajas para las empresas que lo incorporan. El ecodiseño adopta un método integral para la relación entre productos y servicios y el ambiente en tres niveles:



Nuevo y eficiente motor Ecoboost de Ford en la Exposición de Motores de Frankfurt en 2009.

- Se considera todo el ciclo de vida útil del producto o servicio. Las repercusiones ambientales de un producto aparecen no solo durante su manufactura y uso, o cuando acaba su vida útil, sino también durante todo su ciclo de vida de servicio. Incluye la extracción y transporte de recursos necesarios para manufacturar el producto,

[7] Ejemplo adaptado de G. Lynn Shostack, "Service Positioning through Structural Change", *Journal of Marketing* 51, enero de 1987, p. 41.
[8] Adaptado de http://www.ecosmes.net

los procesos de manufactura, distribución, uso y mantenimiento, reutilización y tratamiento de sus desechos.

- El producto se considera como sistema. Todos los elementos necesarios para perfeccionar la función del producto (consumibles, empaque, redes de energía) también deben tomarse en cuenta.
- Se toma en cuenta un método de criterios múltiples. Se evalúan todos los efectos ambientales que se generen por el sistema de un producto durante toda su vida útil para evitar términos medios entre diferentes categorías de impacto (por ejemplo, agotamiento de recursos, efecto invernadero y toxicidad). Esto se estudia con más profundidad en el capítulo 11, en relación con la adquisición de materiales.

El ecodiseño es benéfico para la empresa, usuarios y sociedad al mismo tiempo porque responde al interés común de obtener productos más eficientes desde el punto de vista económico y ambiental. El productor manufactura un producto con menos materiales; con menos agua, energía, etc.; y genera menos desechos que hayan de manejarse más adelante. En consecuencia, se reducen los costos de manufactura. El usuario compra un producto más confiable y durable que necesita menos energía o consumibles para funcionar y se repara con facilidad cuando sea necesario. La sociedad se beneficia al aumentar la disponibilidad futura de recursos para otros productos o servicios y al evitar posible daño ambiental, con lo cual se ahorran costos de tratamiento o recuperación.

Global

Además, la normatividad europea reconoce y destaca la responsabilidad de productores para reducir al mínimo los efectos ambientales de sus productos y servicios. El ecodiseño ayuda a los productores a manejar esa responsabilidad y apegarse a la legislación relacionada con su producto.

Medición del desempeño del desarrollo de productos

Existe evidencia sólida de que la generación de una cantidad constante de nuevos productos para el mercado es muy importante en el tema de la competitividad. Para tener éxito, las empresas deben responder a las necesidades cambiantes de los clientes y a los movimientos de sus competidores. Es crítica la capacidad de identificar oportunidades, poner en marcha las actividades del desarrollo y llevar al mercado nuevos productos y procesos con rapidez. Las empresas también deben llevar con eficiencia los nuevos productos y procesos al mercado.

Como el número de nuevos productos y nuevas tecnologías de procesos se incrementó mientras que la vida de modelos y los ciclos de vida disminuyeron, ahora las empresas deben iniciar una mayor cantidad de proyectos de desarrollo que antes, y emplear una cantidad mucho más pequeña de recursos por proyecto.

ILUSTRACIÓN 3.11 Medidas del desempeño de proyectos de desarrollo.

Dimensiones del desempeño	Medidas	Efecto de la competitividad
Tiempo para llegar al mercado	Frecuencia de introducciones de nuevos productos Tiempo entre el concepto inicial y la introducción al mercado Número iniciado y número terminado Real *versus* planeado Porcentaje de ventas derivadas de nuevos productos	Capacidad de respuesta a clientes/competidores Calidad del diseño; cercanía al mercado Frecuencia del proyecto; vida del modelo
Productividad	Horas de ingeniería por proyecto Costo de materiales y maquinado por proyecto Real *versus* planeada	Número de proyectos; originalidad y envergadura de la línea Frecuencia del proyecto; aspectos económicos del desarrollo
Calidad	Conformación; confiabilidad del uso Diseño; desempeño y satisfacción del cliente Rendimiento; fábrica y campo	Reputación; lealtad de los clientes Atractivo relativo para los clientes; participación de mercado Rentabilidad; costo de un servicio permanente

Fuente: Reproducido con autorización de The Free Press, División de Simon & Schuster Adult Publishing Group, de S. C. Wheelwright y K. B. Clark, Revolutionizing Product Development: Quantum Leaps in Speed, Efficiency, and Quality, pp. 6-8.

Por ejemplo, en el mercado estadounidense de automóviles, el crecimiento de modelos y de segmentos de mercado en los pasados 25 años provocó que una empresa automotriz deba iniciar cuatro veces más proyectos de desarrollo tan solo para conservar su participación de mercado. Sin embargo, con menos volúmenes por modelo y vidas más breves de los diseños, los requerimientos de recursos deben bajar en forma drástica. Para no dejar de ser competitivo se requieren actividades eficientes de ingeniería, diseño y desarrollo.

El éxito del desarrollo de productos se mide a partir de la velocidad y la frecuencia para llevar los nuevos productos a la línea hasta la productividad del proceso de desarrollo mismo y la calidad de los productos que llegan al mercado (vea la ilustración 3.11). En conjunto, el tiempo, la calidad y la productividad definen el desempeño del desarrollo, y en combinación con otras actividades (ventas, producción, publicidad y servicio al cliente) determinan el efecto del proyecto en el mercado y su rentabilidad.

Resumen

El desarrollo de productos es un gran desafío que tiene repercusiones directas en el éxito de largo plazo de las empresas. La administración eficaz del proceso requiere un esfuerzo integral que involucre a todas las áreas funcionales de la empresa. En este capítulo se vio un proceso genérico para desarrollar productos y consideró cómo modificarlo para diversos tipos de productos. Un plan económico que vincule los tiempos de las distintas actividades para desarrollar el producto y el presupuesto para el proyecto es fundamental para tomar buenas decisiones a medida que avanza el proceso. Asimismo, se analizó brevemente cómo incorporar la perspectiva del cliente al proceso de diseño del producto. El diseño de un producto que se elabore con eficiencia es un ejercicio interesante de ingeniería que se plantea someramente en el capítulo. También se habla de cómo evaluar el ajuste de un servicio nuevo o modificado cuando se desarrollan nuevos productos de servicios, así como los avances recientes en el ecodiseño. Por último, se mencionan diversas medidas para supervisar las actividades del diseño de productos de una empresa.

Conceptos clave

Fabricante por contrato Organización con capacidad para fabricar y/o adquirir todos los componentes que se necesitan para elaborar un producto o aparato terminado.

Competencia clave Lo que una empresa hace mejor que sus competidoras. La meta es tener una competencia clave que genere una ventaja competitiva de largo plazo para la empresa.

Ingeniería concurrente Destaca la integración interfuncional y el desarrollo concurrente de un producto y sus procesos asociados.

Despliegue de la función de calidad (QFD) Proceso que contribuye para que la empresa determine las características importantes para el consumidor y evaluar su propio producto en relación con los demás.

Casa de la calidad Matriz que ayuda al equipo que diseña el producto a traducir los requerimientos de los clientes a metas de operaciones y de ingeniería.

Análisis del valor/ingeniería del valor (AV/IV) Tiene por objeto simplificar los productos y los procesos para lograr un desempeño equivalente o superior con un costo más bajo.

Ecodiseño Incorporación de consideraciones ambientales en el diseño y perfeccionamiento de productos o servicios. Estos aspectos se relacionan con todo el ciclo de vida útil, como materiales, manufactura, distribución y eliminación final de desechos.

Problema resuelto

VidMark, fabricante de teléfonos celulares, está creando un nuevo modelo (VidPhone X70) que saldrá al mercado cuando termine el desarrollo. El teléfono será revolucionario porque permitirá al usuario hacer videollamadas. VidMark está interesada en conocer el costo y tiempo del desarrollo. También quiere conocer las ventas estimadas del nuevo VidPhone X70 en el mercado. La siguiente tabla presenta los costos estimados y los proyectados.

Costo de desarrollo	$2 000 000
Tiempo de desarrollo	2 años
Costo de producción de transición	$750 000
Costo de marketing y apoyo	$500 000/año
Costo de producción unitario	$75
Precio unitario	$135
Volumen de producción y ventas	
Año 3	40 000
Año 4	50 000
Año 5	40 000

Con estos datos analice el caso. A continuación se presenta el programa del proyecto con los tiempos de los flujos de efectivo.

Programa del proyecto VidPhone X70	**Año 1**	**Año 2**	**Año 3**	**Año 4**	**Año 5**
Desarrollo					
Producción de transición					
Marketing y apoyo					
Producción y ventas					

VidMark debe responder varias preguntas sobre este proyecto:

a) ¿Cuáles serán los flujos anuales de efectivo y el valor presente (descontado a 12%) de este proyecto? ¿Cuál es su valor presente neto?
b) Si las ventas estimadas se equivocan 20%, ¿cuáles serán las repercusiones para VidMark?
c) Si el costo de producción por unidad es de 85 dólares, ¿cuáles serán las repercusiones para VidMark?
d) VidMark considera que puede acortar el tiempo de desarrollo a la mitad si le asigna 1 500 000 dólares más. Si lanza el producto un año antes, entonces tendrá 3 años de vida, pero el pronóstico por iniciar en el año 2 será de 48 000 dólares, 60 000 dólares y 50 000 dólares. ¿Vale la pena el dinero adicional en el desarrollo?

Solución

a) Empiece por crear el escenario del caso (el análisis está en miles).

Programa del proyecto VidPhone X70	**Año 1**	**Año 2**	**Año 3**	**Año 4**	**Año 5**
Desarrollo	–$1 000	–$1 000			
Producción de transición		–$750			
Marketing y apoyo		–$500	–$500	–$500	–$500
Volumen de producción			40	50	40
Costo de producción unitario (dólares)			–$75	–$75	–$75
Costos de producción			–$3 000	–$3 750	–$3 000
Volumen de ventas			40	50	40
Precio unitario (dólares)			$135	$135	$135
Ingresos por ventas			$5 400	$6 750	$5 400
Flujo de efectivo del periodo	–$1 000	–$2 250	$1 900	$2 500	$1 900
VP año 1 (r = 12%)	–$1 000	–$2 009	$1 515	$1 779	$1 207
VPN del proyecto	$1 493				

A continuación se muestran los flujos de efectivo y el valor presente de los flujos de efectivo. El VPN del proyecto conforme al caso es de 1.493 millones de dólares.

b) Si las ventas disminuyen 20%, el VPN del proyecto baja a 378 000 dólares.

Programa del proyecto VidPhone X70	**Año 1**	**Año 2**	**Año 3**	**Año 4**	**Año 5**
Flujo de efectivo del periodo	–$1 000	–$2 250	$1 420	$1 900	$1 420
VP año 1 (r = 12%)	–$1 000	–$2 009	$1 132	$1 352	$902
VPN del proyecto	$378				

Si las ventas se incrementan 20%, el VPN del proyecto sube a 2.607 millones de dólares. Un aumento o un decremento de 20% tiene un efecto considerable en el VPN.

Programa del proyecto VidPhone X70	**Año 1**	**Año 2**	**Año 3**	**Año 4**	**Año 5**
Flujo de efectivo del periodo	–$1 000	–$2 250	$2 380	$3 100	$2 380
VP año 1 (r = 12%)	–$1 000	–$2 009	$1 897	$2 207	$1 513
VPN del proyecto	$2 607				

c) Incremento de los costos de producción por unidad.

Programa del proyecto VidPhone X70	**Año 1**	**Año 2**	**Año 3**	**Año 4**	**Año 5**
Flujo de efectivo del periodo	–$1 000	–$2 250	$1 500	$2 000	$1 500
VP año 1 (r = 12%)	–$1 000	–$2 009	$1 196	$1 424	$953
VPN del proyecto	$564				

El incremento del costo de producción por unidad afectó considerablemente los flujos de efectivo. Una mayor salida futura de efectivo de 1.3 millones de dólares (un incremento de 130 000 unidades * 10 dólares) provoca un decremento en el valor presente neto de 929 000 dólares (1.493 millones de dólares – .564 millones de dólares). No obstante, parece que aún vale la pena desarrollar el nuevo teléfono.

d) Estos son los cambios que propone VidMark:

Costo de desarrollo	$3 500 000
Tiempo de desarrollo 1 año	1 año
Costo de producción de transición	$750 000
Costo de marketing y apoyo	$500 000/año
Costo de producción unitario	$75
Precio unitario	$135
Volumen de producción y ventas	
Año 2	48 000
Año 3	60 000
Año 4	50 000

Analice el caso con estos datos. A continuación se presenta el programa del proyecto con los tiempos de los flujos de efectivo.

Programa del proyecto VidPhone X70	**Año 1**	**Año 2**	**Año 3**	**Año 4**
Desarrollo				
Producción de transición				
Marketing y apoyo				
Producción y ventas				

Al parecer, lo mejor es que VidMark dedique dos años a desarrollar su nuevo VidPhone X70, pues el VPN del caso es de 1.493 millones de dólares frente a 1 625 000 dólares del VPN con un desarrollo rápido (vea el siguiente cuadro).

Programa del proyecto VidPhone X70	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
Desarrollo	–$3 500			
Producción de transición	–$750			
Marketing y apoyo	–$500	–$500	–$500	–$500
Volumen de producción		48	60	50
Costo de producción por unidad (dólares)		–$75	–$75	–$75
Costos de producción		–$3 600	–$4 500	–$3 750
Volumen de ventas		48	60	50
Precio unitario (dólares)		$135	$135	$135
Ingreso por ventas		$6 480	$8 100	$6 750
Flujo de efectivo del periodo	–$4 750	$2 380	$3 100	$2 500
VP año 1 (r = 12%)	–$4 750	$2 125	$2 471	$1 779
VPN del proyecto	$1 625			

Preguntas de repaso y análisis

1. Describa el proceso genérico del desarrollo de productos que presenta este capítulo. ¿Cómo cambia este proceso en el caso de productos “impulsados por la tecnología”?
2. Explique la filosofía de diseño del producto que sustenta el diseño industrial y el diseño para la manufactura y el ensamble. ¿Cuál considera más importante para un desarrollo de productos pensado en el cliente?
3. Explique los incrementos basados en el diseño, frecuentes en el rediseño de un producto a lo largo de su vida. ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de esta idea?
4. ¿Qué factores se deben considerar en el desarrollo de productos antes de introducir uno nuevo?
5. ¿Cómo ayuda el enfoque del QFD? ¿Cuáles son algunas limitaciones del enfoque del QFD?
6. ¿Los conceptos de la complejidad y divergencia son aplicables a una compañía que realiza sus ventas en internet, como Dell Computer?

Ejercicio de enriquecimiento de internet

Piense en un producto o servicio disponible y que le interesa comprar. Con base en los conceptos del despliegue de la función de calidad (QFD), cree una matriz de casa de calidad de 3 por 3 (tres requerimientos del cliente correspondientes a tres requerimientos técnicos) para este producto o servicio, y complete todas las secciones de la matriz. Para referencia y ayuda con este ejercicio, acceda al tutorial interactivo que se proporciona en http://www.gsm.mq.edu/au/cmit/

Problemas

1. Tuff Wheels se preparaba para iniciar su proyecto de desarrollo de un nuevo producto que se sumaría a su pequeña línea de vehículos motorizados para niños. El nuevo producto se llama Kiddy Dozer. Parece una excavadora miniatura, con todo y sus ruedas de oruga y su pala. Tuff Wheels pronosticó la demanda y el costo de desarrollar y producir el nuevo Kiddy Dozer. La tabla siguiente contiene la información pertinente de este proyecto.

Costos de desarrollo	$1 000 000
Tiempo estimado de desarrollo	9 meses
Prueba piloto	$200 000
Costo de producción de transición	$400 000
Costo de marketing y apoyo	$150 000 por año
Volumen de producción y ventas	$60 000 por año
Costo de producción unitario	$100
Precio unitario	$170
Tasa de interés	8%

Tuff Wheels también presentó el plan del proyecto que se muestra a continuación. En él se ve que se considera una vida del producto de tres años hasta que sea preciso crear un nuevo producto.

Programa del proyecto	**Año 1**				**Año 2**				**Año 3**				**Año 4**			
Kiddy Dozer	**T_1**	**T_2**	**T_3**	**T_4**	**T_1**	**T_2**	**T_3**	**T_4**	**T_1**	**T_2**	**T_3**	**T_4**	**T_1**	**T_2**	**T_3**	**T_4**
Desarrollo																
Pruebas piloto																
Producción de transición																
Marketing y apoyo																
Producción y ventas																

a) ¿Cuáles son los flujos anuales de efectivo de este proyecto y su valor presente (descontado a 8%)? ¿Cuál es el valor presente neto?

b) Si las ventas anuales reales son de 50 000 dólares al año o 70 000 dólares al año, ¿cómo afectarán al Kiddy Dozer?

c) ¿Qué efecto tiene cambiar la tasa de descuento a 9, 10 u 11%?

2. Perot Corporation desarrolla un nuevo módulo para CPU basado en un nuevo tipo de tecnología. El desarrollo del nuevo módulo, llamado Patay2, tardará dos años. No obstante, como los fabricantes de módulos pueden copiar la tecnología, tendrá una vida de mercado de dos años a partir de su introducción. Perot espera lograr un precio más alto en el primer año, y anticipa una importante reducción en el costo de producción después del primer año también. A continuación se presenta la información del desarrollo y la venta del Patay2.

Estimados del producto módulo Patay2

Costo de desarrollo	$20 000 000
Pruebas piloto	$5 000 000
Perfeccionamiento	$3 000 000
Costo de producción de transición	$3 000 000
Avances de marketing	$5 000 000
Costo de marketing y apoyo	$1 000 000/por año
Costo de producción por unidad del año 1	$655 000
Costo de producción por unidad del año 2	$545 000
Precio unitario del año 1	$820 000
Precio unitario del año 2	$650 000
Volumen de producción y ventas del año 1	250 000
Volumen de producción y ventas del año 2	150 000
Tasa de interés	10%

Tiempos del proyecto del módulo Patay 2

Programa del proyecto	**Año 1**		**Año 2**		**Año 3**		**Año 4**	
Módulo Patay2	**1a. mitad**	**2a. mitad**	**1a. mitad**	**2a. mitad**	**1a. mitad**	**2a. mitad**	**1a. mitad**	**2a. mitad**
Desarrollo								
Pruebas piloto								
Perfeccionamiento								
Producción de transición								
Avance de marketing								
Marketing y apoyo								
Producción y ventas								

a) ¿Cuáles son los flujos anuales de efectivo de este proyecto y su valor presente (descontado a 10%)? ¿Cuál es el valor presente neto?

b) Los ingenieros de Perot determinaron que si gastan 10 millones de dólares más en desarrollo, podrán sumar características incluso más avanzadas. Contar con un módulo más avanzado les permitirá cargar 50 dólares más al precio los dos años (870 dólares el año 1 y 700 dólares el año 2). ¿Vale la pena la inversión adicional?

c) Si las ventas solo son por 200 000 dólares el primer año y por 100 000 dólares el segundo, ¿Perot seguiría adelante con el proyecto de cualquier manera?

3. Escoja un producto y enliste los temas que se deben tomar en cuenta para su diseño y fabricación. El producto puede ser un aparato estereofónico, un teléfono, un escritorio o un aparato de cocina. Piense en los aspectos funcionales y estéticos del diseño, así como los puntos importantes para su manufactura.
4. La siguiente gráfica es una casa parcial de la calidad de un club de golf. Pondere la importancia, desde su perspectiva (o la de un amigo que juegue golf), en los espacios en blanco. De ser posible, con el enfoque del QFD, compárela con un club en el que jueguen usted o sus amigos.

Qué *vs.* cómo
Relación fuerte ●
Relación mediana ○
Relación débil △

	Aspectos materiales	Ubicación del campo	Mantenimiento del césped	Diseño del campo	Colocación de pins	Tiempo del campo	Colocación de tees	Instalación de servicios	Asistentes capacitados para los clientes	Comida de gran calidad	Chefs muy calificados	Restaurante atractivo	Actividades de torneos	Handicap Calloway	Premios interesantes	Cuestiones de percepción	Solo por invitación	Tipos de invitados	Nivel de ingresos	Celebridades
Aspectos materiales																				
Césped bien cuidado																				
Fácil acceso																				
Desafiante																				
Instalaciones de servicios																				
Restaurante																				
Buena comida																				
Buen servicio																				
Buena distribución																				
Vestuario de lujo																				
Asistentes amables																				
Instalaciones para torneos																				
Buen premio																				
Tipos de jugadores																				
Sistema de handicap justo																				
Cuestiones de percepción																				
Prestigio																				

CASO: DISEÑO Y PRECIOS DE IKEA

El minorista sueco domina los mercados de 32 países y ahora pretende conquistar Estados Unidos. Su plan de batalla: seguir ofreciendo sus productos a precios más baratos, sin demeritar su calidad.

Sobre todo, un factor explica el éxito de IKEA: buena calidad con precio bajo. IKEA vende artículos para el hogar baratos pero no corrientes, en precios por lo general entre 30 y 50% por debajo de los de la competencia. El precio de los productos de otras compañías suele subir con el transcurso del tiempo, pero IKEA afirma que en los pasados cuatro años sus precios al menudeo bajaron alrededor de 20% en total. En IKEA, el proceso de bajar los costos empieza en el momento en que se concibe un nuevo artículo y continúa incesantemente a lo largo de toda su serie de producción. Por ejemplo, el precio de una silla Pöang básica disminuyó de 149 dólares en el año 2000 a 99 dólares en 2001 y a 79 dólares en la actualidad. IKEA espera que la reducción más reciente de precios incremente las ventas de la Pöang entre 30 y 50%.

El mantra corporativo de IKEA es “Precio bajo con sentido”. La meta es que las cosas sean menos caras sin que los clientes sientan que son corrientes. Encontrar ese equilibrio exige una suerte especial de experiencia en diseño, producción y distribución. IKEA lo consigue con su sello distintivo: buen gusto, de forma metódica, incluso alegre y, no obstante, de alguna manera diferente a cualquier otra empresa del mundo. A continuación se presenta una guía, paso por paso, de la forma en que IKEA diseña, produce y distribuye los artículos que el mundo entero quiere comprar.

La taza Trofé es uno de los productos más populares de IKEA. La historia de la taza es un ejemplo de cómo funciona la compañía, desde la brillante idea de un compañero de trabajo hasta la producción y las ventas. También es una historia de todas las exigencias que nosotros y nuestros clientes le imponemos. Un precio barato es el requerimiento más evidente, pero otros son su función, diseño moderno, consideraciones de orden ambiental y la garantía de que los productos se fabricaron en condiciones laborales aceptables.

Tanto los clientes como los compañeros de trabajo deben poder confiar en IKEA.

PASO 1. ESCOGER UN PRECIO

Desarrollo del producto. ¿Un boceto de un nuevo producto? Sí, pero también es un cálculo de lo que costará. El precio bajo empieza en el restirador.

El equipo para cada producto está compuesto por diseñadores, desarrolladores de productos y personal del departamento de compras (compradores) que se reúnen para hablar sobre diseño, materiales y proveedores más aconsejables. Todos aportan su conocimiento especializado. Por ejemplo, los compradores emplean sus contactos con proveedores de todo el mundo por medio de las Oficinas de Servicios Comerciales de IKEA. ¿Quién puede fabricarlo, con la mejor calidad, al precio justo y en el tiempo indicado?

Cuando la desarrolladora de productos Pia Eldin Lindstén recibió el encargo de crear una nueva taza hace más de cinco años, también se le indicó cuánto debería costar en las tiendas. En el caso de Trofé, el precio tenía que ser increíblemente bajo: cinco coronas suecas. La taza debía tener un precio de verdad espectacular.

Para producir la taza correcta con el precio correcto, Pia y sus colegas tuvieron que tomar en cuenta materiales, colores y diseño. Por ejemplo, la taza se fabrica en verde, azul, amarillo o blanco porque estos pigmentos cuestan menos que otros, como el rojo.

PASO 2. ESCOGER UN FABRICANTE

Proveedores y compras. La tarea del desarrollo de productos no termina jamás. En colaboración con los proveedores se produjo una taza más chica y el asa se alteró de modo que se pudiera apilar con mayor eficiencia, lo que ahorró espacio para su transporte, almacenamiento y exhibición en las tiendas, y, un punto muy importante, en las alacenas de los clientes. IKEA siempre trata de eliminar la mayor cantidad de aire posible de sus empaques. De preferencia, los empaques deben ser planos para que su transportación y almacenamiento resulten eficientes.

Un proveedor, una fábrica de Rumania, trabaja desde hace 15 años con IKEA. Las relaciones de largo plazo permiten a las dos partes crear un colosal acervo de conocimiento acerca de exigencias y expectativas. Esto explica por qué los productos muchas veces se desarrollan en estrecha cooperación con los proveedores. En el caso de Trofé, por ejemplo, el nuevo tamaño racionalizó la producción porque permite aprovechar mejor el espacio del horno durante el proceso de quemado. Los costos son rentables y se ahorra tiempo.

IKEA implantó un código de conducta que rige las condiciones laborales y la conciencia ambientalista de los proveedores. Aborda cuestiones como la salud y la seguridad en el centro de trabajo y prohíbe contratar a menores de edad. En la práctica, este código de conducta lo aplican los compañeros de trabajo de las Oficinas de Servicios Comerciales de IKEA en todo el mundo. Muchos proveedores ya cumplen con las exigencias y otros se coordinan con IKEA para realizar las mejoras necesarias. IKEA también trabaja estrechamente con compañías externas que se encargan del control de calidad y auditorías, y verifican si la compañía y sus proveedores cumplen con los requerimientos del código de conducta.

El precio bajo es fundamental para la visión de IKEA, cuyo propósito es crear una vida diaria mejor para muchas personas. Eso explica por qué la compañía no cesa de esforzarse por reducir costos. Sin embargo, también es cuestión de ahorrar materias primas y, a final de cuentas, de cuidar el ambiente. La taza de bajo costo es un ejemplo de la influencia de las consideraciones ambientales en el desarrollo de productos. Por ejemplo, la nueva taza es de color más claro, lo cual reduce costos y es menos nocivo para el ambiente. Cuanto menos pigmento se utilice, tanto mejor. La taza no tiene plomo ni cadmio.

PASO 3. DISEÑAR EL PRODUCTO

Una vez definidos el precio y el fabricante, IKEA vuelve a recurrir a la competencia interna para encontrar a un diseñador y elegir el diseño que producirá. El diseñador inicia su proceso con una explicación breve del precio del producto, su función, los materiales que llevará y las capacidades del fabricante. A continuación, el diseñador envía el resumen a los diseñadores de base y a los contratistas independientes de IKEA, y afina los diseños promisorios hasta elegir uno. El diseñador quiere que los productos sean como navajas del ejército suizo; es decir, obtener la máxima funcionalidad al costo mínimo.

PASO 4: ENVIARLO

La distribución y la logística son el líquido vital de IKEA y piezas importantes del rompecabezas del camino que lleva a un precio bajo. La empresa se esfuerza por entregar el número correcto de bienes a las tiendas indicadas en el momento oportuno. Calcula los bienes que se requerirán y garantiza entregas eficientes.

Cada plataforma contiene 2 024 tazas, que se transportan desde Rumania por ferrocarril, carretera y mar a los centros de distribución de IKEA en todo el mundo. Por supuesto, el transporte afecta el ambiente, pero IKEA estudia cómo reducir el impacto ambiental.

Muchos productos de IKEA son voluminosos (como mesas y sillas), pero la empresa introdujo el concepto de lo plano. El momento de la epifanía de IKEA fue en 1956, cuando uno de sus primeros diseñadores vio a un cliente que intentaba meter una mesa a su auto. Solo había una manera de hacerlo: quitándole las patas. A partir de entonces, la mayor parte de los productos de IKEA se diseñan para enviarse sin armar y son lo bastante planos para colocarlos en el maletero de una camioneta o atarlos en forma segura en un portabultos en el techo de un automóvil.

La cultura corporativa innata de IKEA es de frugalidad, conforme a la cual el desperdicio es “un pecado mortal”, y el empaque plano también es una manera estupenda de abatir costos de envío porque se maximiza el uso del espacio en el interior de las plataformas de embarque. La empresa calcula que el volumen de transporte sería seis veces mayor si enviara sus artículos armados. Desde el estudio de diseño hasta el piso del almacén, el mantra de los empleados de IKEA siempre es el mismo: “No queremos pagar por transportar aire”.

IKEA está obsesionada con hacer cosas planas. ¿Cuántas veces se puede rediseñar una simple taza de cerámica para café? La taza de IKEA se diseñó tres veces tan solo para maximizar la cantidad que cabe en una plataforma de embarque; al principio solo cabían 864 tazas. Un rediseño añadió un borde, parecido al de las macetas, para que cupieran 1 280 tazas en cada plataforma. Otro rediseño creó una taza más chica con un asa diferente, lo que permitió acomodar 2 024 en una plataforma. El precio de venta de la taza aún es de 50 centavos, pero los costos de embarque disminuyeron 60%, lo cual representa un ahorro sustantivo porque IKEA vende alrededor de 25 millones de tazas al año. Es más, el costo de producción de la fábrica rumana de IKEA también bajó porque estas tazas más compactas ocupan menos espacio en el horno.

Cuando se envían 25 millones de metros cúbicos de bienes a todo el mundo, la frugalidad de los empaques planos sí cuenta. IKEA ahora tiene la meta de que todos los paquetes que envíe deben contener en promedio 65% de carga, y espera aumentarla a 75%. Para alcanzar esa meta se requerirán más cambios de diseño y en ocasiones incluso sacar el aire a los artículos (como las almohadas de IKEA, que vienen envueltas y aplastadas, y parecen galletas gigantes en los anaqueles de las tiendas). Además, está claro que los empaques planos trasladan el costo de armar los productos al cliente, lo cual ahorra más dinero.

A medida que IKEA transfiere una mayor parte de sus compras de Europa al Lejano Oriente, el tiempo y los costos de los embarques se convierten en un asunto que merece incluso mayor atención. El año pasado, China empató a Suecia en el primer lugar de la lista de países proveedores de IKEA. La compañía respondió con la creación de una red global de centros de distribución, en su mayor parte cerca de puertos comerciales y amplias rutas de camión y ferrocarril. IKEA tiene 18 centros de distribución repartidos por todo el mundo, los cuales manejan alrededor de 70% del total de las líneas de productos de IKEA, y construye cuatro más. De los productos restantes de IKEA, 30% viaja directamente del proveedor a la tienda.

Sin embargo, en ocasiones los componentes de los productos se juntan por primera vez hasta la tienda. En el caso de la silla Pöang, el asiento viene de Polonia y el marco de China. Las dos piezas se juntan cuando el cliente las saca del anaquel.

PASO 5. VENDERLO

IKEA vende muchos muebles costosos, y en una tienda tradicional es relativamente fácil hacerlo. Coloque un mueble en un contexto lujoso, deje que el cliente caiga presa de visiones de riqueza y comodidad y, a continuación, ofrezca mucho crédito fácil. Pero, para mantener los precios bajos, IKEA debe vender muebles y otros productos, como la taza, sin vendedores ni rebajas llamativas de precios. La empresa pide a los clientes que ellos mismos armen los muebles. Además, IKEA no los envía. Según cualquier medida, se trata de enormes obstáculos por superar. No obstante, también explican por qué IKEA se esfuerza tanto por crear un mundo separado en el interior de sus tiendas, una especie de parque temático disfrazado de mueblería, donde no aplican las reglas ni las expectativas normales.

Las tazas Trofé llegan a las tiendas de IKEA dentro de plataformas. Todos los empaques del transporte se recuperan para su reciclaje. Los proveedores envían las tazas con las etiquetas del precio ya colocadas. La exhibición en la tienda es importante. No es solo cuestión de mostrar las tazas y otros productos, sino también de ser fuente de inspiración para soluciones inteligentes de interiores. Los clientes contribuyen a los precios bajos de IKEA porque ellos mismos escogen y toman los productos en el área de autoservicio, los transportan a casa y siguen las instrucciones adjuntas para armarlos. Muchos tal vez ya eligieron los productos en un catálogo de IKEA, del cual se imprimen 110 millones de ejemplares en 34 idiomas.

Cuando uno entra en una tienda de IKEA, encuentra una Suecia virtual construida con gran meticulosidad. Lo primero que ve es un espacio para niños patrocinado por la empresa. ¿Tiene hambre? Sírvase unas albóndigas y moras silvestres suecas. La distribución de una tienda de IKEA guía a los compradores por una ruta predeterminada, que pasa frente a varias casas modelo muy realistas, las cuales producen la misteriosa impresión de que alguien vive ahí, pero están abiertas para que los clientes entren y se sienten. Los kioscos de información brindan asesoría sobre la decoración del hogar. Los tarjetones de colores coordinados ofrecen muchas sugerencias de usos originales para los productos.

Sin embargo, el énfasis siempre está en el precio. Con frecuencia hay productos baratos sobre pequeñas plataformas, enmarcados por una enorme etiqueta amarilla con un precio que "le deja sin aliento". Junto a ellos, los compradores encuentran otros productos, más costosos y con otro tipo de diseño, sustitutos de los baratos.

Las casas modelo sugieren que están habitadas por jóvenes alegres que organizan reuniones en los pasillos, que utilizan sillas de oficina todas diferentes y estrechas mesitas auxiliares. No son las imágenes de gente con grandes aspiraciones que encontraría en Pottery Barn o Crate & Barrel; son personas que viven bien en circunstancias modestas, individuos frugales que conocen el valor de un lugar cómodo para sentarse.

IKEA sostiene que su punto más fuerte para vender es el precio, pero que el largo tiempo necesario para recorrer una de sus enormes tiendas no hace daño. La distribución es a todas luces manipuladora —de manera amable y conocedora, parecida a la de Disneylandia—, pero cuando los clientes por fin llegan a la caja de salida, tuvieron mucho tiempo para pensar a fondo en sus compras.

Los productos de IKEA proyectan el ánimo de vivir en el mundo moderno. No compre una jarra horrorosa si puede adquirir una con gran estilo por el mismo precio. Si organiza sus bolsas de plástico, sentirá que controla mejor su vida. Es la lógica del hemisferio izquierdo del cerebro aplicada al arte de vivir bien del hemisferio derecho. Y si la felicidad implica arrastrar un enorme paquete plano para sacarlo del anaquel, formarse en línea en la caja de salida, transportar la caja a casa y pasar horas armando un armario de cocina, pues 260 millones de clientes al año están dispuestos a hacer el sacrificio.

Y, por supuesto, el año entrante será incluso más barato.

Preguntas

1. ¿Cuáles son las prioridades competitivas de IKEA?
2. Describa el proceso de IKEA para desarrollar un nuevo producto.
3. ¿Cuáles son las características adicionales del concepto de IKEA (además de su proceso de diseño) que contribuyen a crear un valor excepcional para el cliente?
4. ¿Cuáles serían los criterios importantes para elegir la ubicación de una tienda de IKEA?

Fuente: La información acerca de la taza de café Trofé se obtuvo de http://www.ikea.com

CASO: SPA DENTAL

¿Un tratamiento de parafina caliente en las manos durante su limpieza o tratamiento dentales le relajaría y haría que el proceso resultara más tolerable? Esa es la idea que sustenta los servicios de los nuevos "spa dental" que están abriendo sus puertas en diversas ciudades de Estados Unidos. Además de música tranquila, cómodos sillones y una televisión de pantalla plana en el techo,

con el sonido de auriculares que cancelan el ruido y bloquean los desagradables sonidos del dentista, a veces también ofrecen, al mismo tiempo, masajes de pies, pedicura y otros servicios de spa. Dos tendencias básicas sirvieron para fomentar el crecimiento de los spa: mejorar la asociación entre dolor y dentista, y un mayor enfoque cosmético de la odontología que va de la mano con los tratamientos propios de un spa.

Preguntas

1. ¿Cuál de los tres requerimientos de un nuevo servicio tendría menos probabilidades de cumplir un spa dental: aptitud en experiencia del servicio, aptitud operacional o el impacto financiero? ¿Por qué?
2. ¿Cuáles son algunas áreas principales de complejidad y divergencia en este tipo de operación en comparación con la clínica dental normal?

Cuestionario

1. Organización capaz de manufacturar o comprar todos los componentes necesarios para construir un producto o aparato terminado.
2. Lo que una empresa hace mejor que sus competidores.
3. Las seis fases del proceso de desarrollo del producto.
4. Herramienta útil para el análisis económico del proyecto de desarrollo de un producto.
5. Método con equipos interfuncionales para obtener una entrada proveniente del cliente en una especificación de diseño.
6. Matriz de información que ayuda a un equipo a traducir requisitos de un cliente en metas de operación o de ingeniería.
7. Las mejoras más importantes de esto surgen de la simplificación del producto al reducir el número de partes separadas.
8. Incorporación de consideraciones ambientales en el diseño y desarrollo de productos o servicios.

1. Fabricante por contrato 2. Competencia clave 3. Planeación, desarrollo del concepto, diseño en el nivel de sistema, diseño de detalles, prueba, producción de transición 4. Valor presente neto 5. Desarrollo de función de calidad 6. Casa de calidad 7. Diseño para manufactura y ensamblado 8. Ecodiseño

Bibliografía seleccionada

Boothroyd, G., P. Dewhurst y W. Knight, *Product Design for Manufacture and Assembly,* 2a. ed., Nueva York, Marcel Dekker, 2002.

Cooper, R. G., *Winning at New Products: Accelerating the Process from Idea to Launch,* Reading, Massachusetts, Perseus Books, 2001.

Morgan, James M. y Jeffrey K. Liker, *The Toyota Product Development System: Integrating People, Process, and Technology*, Nueva York, Productivity Press, 2006.

Ulrich, Karl T. y Steven D. Eppinger, *Product Design and Development,* 3a ed., Nueva York, McGraw-Hill/Irwin, 2004.

sección 2

PROCESOS DE MANUFACTURA, SERVICIO Y ATENCIÓN MÉDICA

PROCESOS DE MANUFACTURA, SERVICIO Y ATENCIÓN MÉDICA

La segunda sección de *Administración de operaciones y cadenas de suministro* gira en torno al diseño y análisis de los procesos de la empresa. ¿Alguna vez se preguntó por qué siempre tiene que formarse y esperar en una tienda pero en otra parece que jamás hay aglomeraciones? La clave para atender bien a los clientes, sea con productos o servicios, es contar con un proceso excelente.

Las empresas también deben crear una filosofía de calidad e integrarla a sus procesos. De hecho, la calidad y la eficiencia del proceso están estrechamente relacionadas. ¿Alguna vez hizo usted algo y después tuvo que hacerlo de nuevo porque no resultó bien la primera vez? Esta sección considera estos temas en las industrias de manufacturas, servicio y atención médica.

Capítulo 4

ADMINISTRACIÓN ESTRATÉGICA DE LA CAPACIDAD

Hospital Shouldice. Innovación en cirugía de hernias

Durante la Segunda Guerra Mundial, el doctor Edward Earle Shouldice, mayor del ejército, observó que a muchos jóvenes dispuestos a servir a su país se les negaba el reclutamiento porque necesitaban tratamiento quirúrgico para hernias antes de declararlos físicamente aptos para el entrenamiento militar. En 1940 eran escasos los médicos y las camas de hospital, en especial para cirugías no consideradas de emergencia que solían requerir tres semanas de internamiento. Entonces, el doctor Shouldice resolvió hacer lo posible para aliviar el problema. Aportó sus servicios sin ninguna paga y aplicó un innovador método de cirugía en 70 de esos hombres, lo que agilizó su alistamiento en el ejército.

Después de leer este capítulo, usted:

1. Reconocerá el concepto de capacidad y su importancia para "administrar" la capacidad.
2. Explicará el impacto de las economías de escala en la capacidad de una empresa.
3. Entenderá cómo usar árboles de decisión para analizar opciones ante el problema de agregar capacidad.
4. Describirá las diferencias en capacidad de planeación entre empresas manufactureras y de servicio.

Los reclutas hablaron del éxito obtenido y, hacia el final de la guerra, más de 200 civiles se comunicaron con el médico y esperaban cirugía. Sin embargo, la limitada disponibilidad de camas creó un problema importante. Había sólo una solución: el doctor Shouldice decidió abrir su propio hospital.

En julio de 1945, el Hospital Shouldice, con un personal formado por una enfermera, una secretaria y un cocinero, abrió sus puertas a los pacientes en lista de espera. En un solo quirófano, el doctor Shouldice operaba dos hernias por día. Cuando aumentaron las solicitudes de cirugía, el doctor Shouldice amplió las instalaciones, ubicadas en la Church Street en Toronto, adquirió tres edificios adyacentes y aumentó el personal según fue necesario. En 1953 compró una finca campestre en Thornhill, donde estableció su segundo hospital.

Hoy en día, todas las cirugías se llevan a cabo en Thornhill. El repetido perfeccionamiento culminó en el actual hospital de 90 camas. El Hospital Shouldice se dedica a la operación de hernias desde hace más de 55 años con la "técnica Shouldice". La "fórmula", aunque no es un secreto, va más allá de la destreza de los cirujanos y su capacidad para trabajar según normas de Shouldice. El Hospital Shouldice es un ambiente completo. Estudie los problemas de capacidad con este tipo especial de hospital en el caso al final de este capítulo.

Fuente: Adaptado de www.shouldice.com

Las decisiones de invertir en capacidad de manufactura y servicios son muy complejas. Considere algunas preguntas difíciles que se deben plantear:

- ¿Cuánto tiempo tardaría en entrar en funcionamiento la nueva capacidad? ¿Encaja con el tiempo que se tardaría en desarrollar un nuevo producto?
- ¿Cuáles serían las repercusiones de no contar con suficiente capacidad para un producto promisorio?
- ¿Qué tan grande debemos construir una planta?
- ¿Cuándo y cuánta capacidad debemos agregar a nuestra planta existente?
- ¿La empresa debe contratar fabricantes? ¿Cuánto cobrará un excelente fabricante por contrato por ofrecer flexibilidad en el volumen de producción?

En este capítulo se analizan estas difíciles decisiones estratégicas sobre la capacidad. Se inicia con la explicación de la esencia de la capacidad desde la perspectiva de la AO.

Administración de la capacidad operativa

Servicio

Un diccionario define capacidad como "facultad para tener, recibir, almacenar o dar cabida"; en los negocios, en sentido amplio, se suele considerar como la cantidad de producción que un sistema es capaz de generar durante un periodo específico; en el contexto de los servicios, se refiere, digamos, al número de clientes que se pueden atender entre las 12 a.m. y la 1 p.m.; en el sector manufacturero tiene que ver por ejemplo con la cantidad de automóviles que se producen en un solo turno.

Cuando los gerentes de operaciones piensan en la capacidad deben considerar los insumos de recursos *y* los productos fabricados. Esto se debe a que, para efectos de planeación, la capacidad real (o efectiva) depende de lo que se piense producir. Por ejemplo, una empresa que fabrica múltiples productos inevitablemente producirá más de una clase de ellos que de otra con una cantidad determinada de recursos. Por tanto, aunque los gerentes de una fábrica de automóviles declaren que sus instalaciones tienen 6 000 horas de producción disponibles al año, también piensan que las pueden usar para fabricar 150 000 modelos de dos puertas o 120 000 modelos de cuatro puertas (o alguna mezcla de estos dos modelos). Ello refleja que saben lo que sus insumos de tecnología y de fuerza de trabajo pueden producir y conocen la mezcla de productos que exigirán a estos recursos.

El punto de vista de la administración de operaciones también hace hincapié en la dimensión de la capacidad referente al tiempo. Esto se aprecia en la distinción común que se suele marcar entre la planeación para el largo, el mediano o el corto plazo.

Por lo general, la planeación de la capacidad se refiere a tres periodos:

Largo plazo. Más de un año. Cuando se requiere mucho tiempo para adquirir o deshacerse de los recursos para la producción (como edificios, equipamiento o instalaciones), la planeación de la capacidad de largo plazo implica la participación y autorización de la alta gerencia.

Mediano plazo. Planes mensuales o trimestrales para los siguientes 6 a 18 meses. En este caso, la capacidad se altera con opciones como contratación, recortes de personal, nuevas herramientas, adquisición de equipamiento menor y subcontratación.

Corto plazo. Menos de un mes. Está ligado al proceso de los programas diarios o semanales, e implica ajustes para que no haya variación entre la producción planeada y la real. Aquí entran opciones como horas extra, transferencias de personal y otras rutas de producción.

Aunque ninguna persona ostenta el título de "gerente de capacidad", varios puestos gerenciales tienen a su cargo el uso eficaz de la capacidad. *Capacidad* es un término relativo; en el contexto de la administración de operaciones, puede definirse como *cantidad de insumos de recursos disponibles en relación con los requerimientos de producción en un periodo particular.*

Planeación estratégica de la capacidad

El objetivo de la **planeación estratégica de la capacidad** es ofrecer un enfoque para determinar el nivel general de la capacidad de los recursos de capital intensivo (tamaño de instalacio-

nes, equipamiento y fuerza de trabajo completa) que apoye mejor la estrategia competitiva de la compañía en el largo plazo. El nivel de capacidad que se elija tiene repercusiones críticas en el índice de respuesta de la empresa, la estructura de sus costos, sus políticas de inventario y los administradores y personal de apoyo que requiere. Si la capacidad no es adecuada, la empresa puede perder clientes en razón de un servicio lento o de que permite que los competidores entren al mercado. Si la capacidad es excesiva, la empresa puede verse obligada a bajar los precios para estimular la demanda, a subutilizar su mano de obra, a mantener un inventario excesivo o a buscar productos adicionales, menos rentables, para sostener sus operaciones.

Conceptos de planeacion de la capacidad

El término **capacidad** implica el índice de producción que se puede alcanzar, por ejemplo, 480 automóviles por día, pero no dice nada de cuánto tiempo será posible sostener ese índice. Así, no se sabe si esos 480 autos por día se refieren al máximo alcanzado un día o al promedio de seis meses. Para evitar este problema se usa el concepto **mejor nivel de operación**. Se trata del nivel de capacidad para el que se diseñó el proceso y por ende se refiere al volumen de producción en el cual se reduce al mínimo el costo promedio por unidad. Es difícil determinar este mínimo porque implica un complejo análisis entre asignación de costos para gastos fijos y costo de horas extra, desgaste de equipo, índices de defectos y otros costos.

Capacidad

Mejor nivel de operación

Una medida muy importante es el **índice de utilización de la capacidad**, el cual revela la cercanía del mejor punto de operación:

Índice de utilización de la capacidad

$$\textit{Índice de utilización de la capacidad} = \frac{\textit{Capacidad utilizada}}{\textit{Mejor nivel de operación}} \qquad \textbf{(4.1)}$$

Por ejemplo, si el *mejor nivel de operación* de la planta fuera de 500 automóviles por día y si operara actualmente en 480 automóviles por día, el *índice de utilización de la capacidad* sería de 96%.

$$\textit{Índice de utilización de la capacidad} = \frac{480}{500} = .96 \text{ o } 96\%$$

El índice de utilización de capacidad se expresa como porcentaje y requiere que el numerador y el denominador se midan en unidades y periodos iguales (como horas máquina/día, barriles de petróleo/día o dólares de producto/día).

ECONOMÍAS Y DESECONOMÍAS DE ESCALA

Según la noción básica de las **economías de escala**, a medida que una planta y su volumen se incrementan, se reduce el costo promedio por unidad de producto. En parte, esto se debe a que el costo de operación y el del capital disminuye, porque por lo general no cuesta el doble comprar u operar una pieza de equipo que tiene el doble de capacidad que otra. Las plantas también obtienen eficiencias cuando llegan a un tamaño lo bastante grande para utilizar plenamente los recursos dedicados a tareas como el manejo de materiales, equipo de cómputo y personal administrativo de apoyo.

Economías de escala

En algún punto, el tamaño de la planta resulta demasiado grande y las deseconomías de escala se vuelven un problema. Estas deseconomías se presentan de diferentes maneras. Por ejemplo, mantener la demanda que se necesita para que una planta muy grande permanezca activa tal vez requiera ofrecer descuentos sustantivos del producto. Los fabricantes estadounidenses de automóviles afrontan este problema de manera continua. Otro ejemplo común se refiere al uso de unas cuantas piezas de equipo de enorme capacidad. En este tipo de operación es esencial reducir el tiempo de inactividad del equipo. Por ejemplo, M&M Mars produce grandes volúmenes de chocolates M&M con un equipo muy automatizado. Una sola línea de la empacadora mueve 2.6 millones de paquetes de M&M por hora. Aunque no se requiere mucho trabajo directo para operar el equipo, su mantenimiento sí necesita abundante mano de obra.

En muchos casos, el tamaño de la planta no está sujeto a la influencia del equipo interno, trabajo y otros gastos de capital, sino a otros factores. Un factor central sería el costo del trans-

porte de materias primas y productos terminados que llegan y salen de la planta. Por ejemplo, una fábrica de cemento tendría dificultades para atender a clientes que no estén ubicados a unas cuantas horas de distancia. De igual manera, empresas automotrices como Ford, Honda, Nissan y Toyota observan que es provechoso ubicar las plantas dentro de mercados internacionales específicos. El tamaño anticipado de estos mercados deseados dicta en gran medida el tamaño de las plantas.

Global

En fecha reciente, Jaguar, el productor de automóviles de lujo, resolvió que tenía demasiadas plantas. La empresa tenía 8 560 empleados en tres plantas que producían 126 122 automóviles, alrededor de 14 automóviles por empleado. En comparación, la planta de Volvo en Torslanda, Suecia, tenía más del doble de productividad, con 158 466 automóviles fabricados y 5 472 trabajadores, o 29 automóviles por empleado. Por otro lado, la unidad del Mini de BMW AG producía 174 000 vehículos en una sola planta británica con tan solo 4 500 trabajadores (39 automóviles por empleado).

ENFOQUE EN LA CAPACIDAD

Fábrica enfocada

El concepto de **fábrica enfocada** sostiene que una instalación dedicada a la producción funciona mejor si se enfoca en una cantidad relativamente limitada de objetivos de producción. Esto significa, por ejemplo, que una empresa no debe esperar ser excelente en todos los aspectos del desempeño de la manufactura: costo, calidad, rapidez y confiabilidad en el lanzamiento de productos nuevos, cambios de demanda y flexibilidad para adaptarse a productos nuevos. Por el contrario, debe elegir un conjunto limitado de las actividades que más contribuyan a los objetivos corporativos. Por lo general, la fábrica enfocada produciría un producto específico o un grupo relacionado de productos. Una fábrica enfocada permite que su capacidad se concentre en producir esos bienes específicos.

Planta dentro de una planta (PDP)

El concepto de enfoque en la capacidad también se aplica por medio de un mecanismo de **planta dentro de una planta**, o **PDP**. Una planta enfocada (vea la ilustración 4.1) puede tener varias PDP, cada una de ellas con sus propias suborganizaciones, equipamiento y políticas de proceso, políticas de administración de personal, métodos de control de producción, etc., para distintos productos, aunque todos se fabriquen en el mismo lugar. De hecho, esto permite que cada departamento de la organización encuentre su mejor nivel de operación y, con ello, transmita el concepto del enfoque hasta el nivel de las operaciones.

FLEXIBILIDAD DE LA CAPACIDAD

Flexibilidad de la capacidad significa estar en posibilidad de incrementar o disminuir los niveles de producción con rapidez, o de trasladar la capacidad de producción en forma expedita de un producto o servicio a otro. Esta flexibilidad es posible cuando se tienen plantas, procesos y trabajadores flexibles, así como estrategias que utilizan la capacidad de otras organizaciones. Cada vez más, las empresas toman en cuenta la idea de la flexibilidad al diseñar sus cadenas de suministro. Al trabajar con proveedores, construyen capacidad en todos sus sistemas.

Plantas flexibles Quizá lo último en flexibilidad de plantas sea la que *no necesita tiempo para pasar de un producto a otro.* Esta planta usa equipamiento móvil, muros desmontables y suministro de energía eléctrica muy accesible y fácil de redirigir y, en consecuencia, adaptable con rapidez al cambio. Una analogía con un negocio de servicios para la familia capta la idea muy bien: una planta con equipamiento "fácil de instalar, de desmontar y de trasladar, como el circo Ringling Bros. Barnum and Bailey en los viejos tiempos de las carpas ambulantes".

Procesos flexibles La expresión más clara de los procesos flexibles la representan, por un lado, los sistemas flexibles de producción y, por otro, el equipamiento simple y fácil de preparar. Estos dos enfoques tecnológicos permiten pasar rápido y con bajo costo de una línea de productos a otra, lo que se conoce como **economías de alcance**. (Por definición, las economías de

Economías de alcance

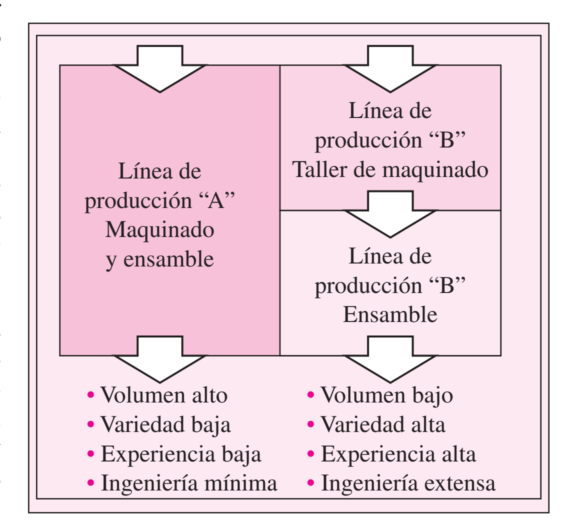
ILUSTRACIÓN 4.1 Fábricas enfocadas. Planta dentro de una planta.

Una planta mal diseñada que trate de hacer demasiado o esté optimizada para un trabajo equivocado puede ser una carga.

La planeación de una planta ayuda a resolver este problema estratégico si se aplica el concepto de "planta dentro de una planta".

Aquí, el diseño de una planta tiene lugares que se convierten en esencia en fábricas independientes. Cada una tiene (al menos sustancialmente) su propia área e infraestructura, como mantenimiento, compras e ingeniería.

Esta figura lo ilustra con un ejemplo. Dos líneas importantes de producción tenían demandas conflictivas de clientes y demandas conflictivas en la infraestructura de la fábrica. Además, una línea de producción tenía procesos muy distintos. La fábrica se dividió en tres fábricas enfocadas, como se muestra.



alcance existen cuando se fabrican múltiples productos con un costo más bajo en combinación que por separado.)

Trabajadores flexibles Los trabajadores flexibles poseen múltiples habilidades y son capaces de pasar con facilidad de una actividad a otra. Requieren una capacitación más amplia que la de los obreros especializados y necesitan el apoyo de gerentes y de personal administrativo para que cambien con agilidad sus asignaciones laborales.

Planeación de la capacidad

CONSIDERACIONES PARA AUMENTAR LA CAPACIDAD

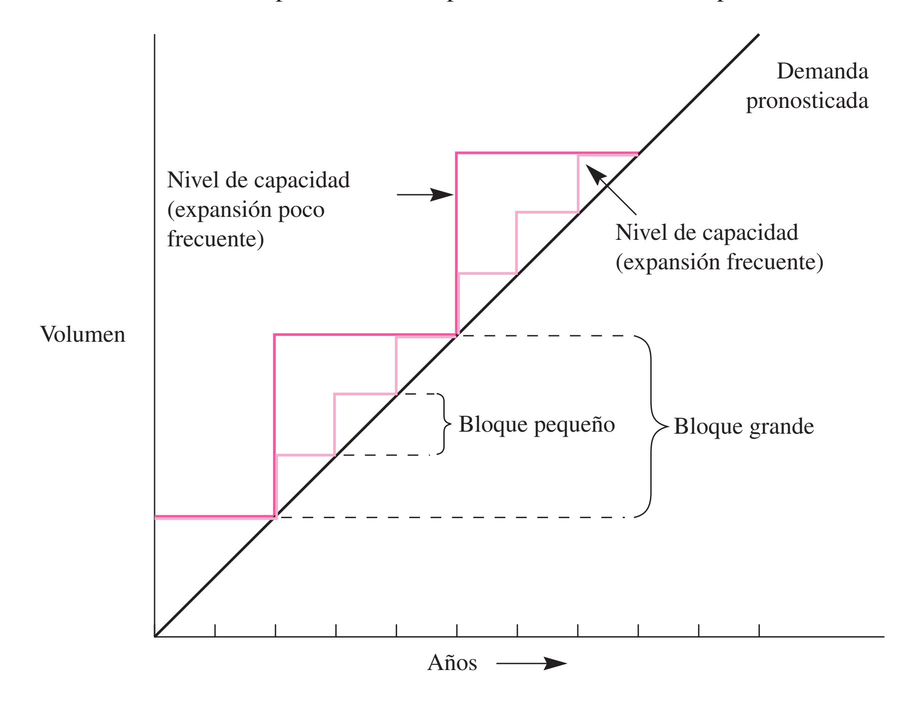
Cuando se proyecta añadir o reducir capacidad es preciso considerar muchas cuestiones; tres muy importantes son: conservar el equilibrio del sistema, la frecuencia de los aumentos de capacidad y el uso de capacidad externa.

Conservar el equilibrio del sistema En una planta en equilibrio perfecto, el producto de la etapa 1 es la cantidad exacta del insumo que requiere la etapa 2. El producto de la etapa 2 es la cantidad exacta del insumo que requiere la etapa 3, y así de manera sucesiva. Sin embargo, en la práctica, llegar a un diseño tan "perfecto" es prácticamente imposible y no es deseable. Una razón de lo anterior es que los mejores niveles para operar correspondientes a cada etapa suelen ser diferentes. Por ejemplo, el departamento 1 operaría con suma eficiencia dentro de una banda de 90 a 110 unidades por mes, mientras que el departamento 2, la siguiente etapa del proceso, es más eficiente en una banda de 75 a 85 unidades por mes, y el departamento 3 trabaja mejor con 150 a 200 unidades por mes. Otra razón es que la variabilidad de la demanda del producto y los procesos mismos por lo habitual provocan desequilibrio.

Hay varios caminos para manejar el desequilibrio. Uno consiste en sumar capacidad a las etapas que son cuellos de botella. Lo anterior se logra con medidas temporales, como programar horas extra, arrendar equipo o adquirir capacidad adicional por medio de subcontrataciones. Otra forma es emplear inventarios que sirvan de amortiguador ante la etapa que es un cuello de botella para garantizar que siempre haya material para trabajar. Un tercer enfoque implica duplicar las instalaciones del departamento del que depende otro departamento. Todos estos métodos se aplican cada vez más al diseño de cadenas de suministro. Esta planeación del suministro también contribuye a reducir los desequilibrios para socios, proveedores y clientes.

Cadena de suministro

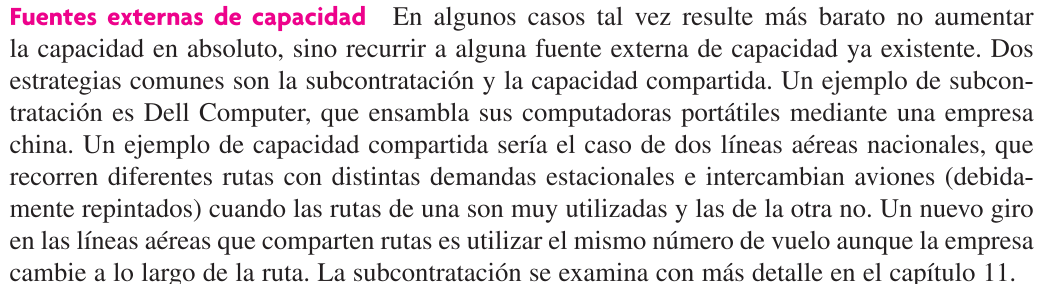
ILUSTRACIÓN 4.2 Expansión de la capacidad frecuente *versus* poco frecuente.

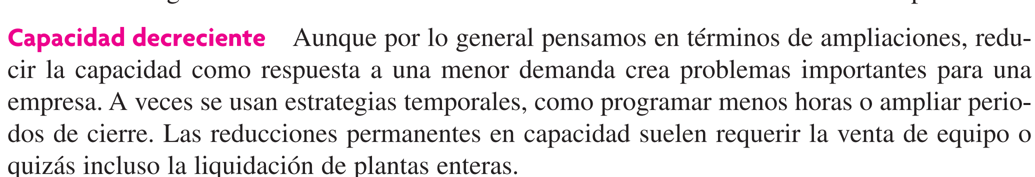


Frecuencia de los aumentos de capacidad Cuando se suma capacidad se deben considerar dos tipos de costos: el de escalar la capacidad con demasiada frecuencia y el de hacerlo con muy poca frecuencia. Escalar la capacidad con demasiada frecuencia es muy costoso. Los costos directos incluyen retirar y sustituir el equipamiento viejo y capacitar a los empleados para usar el nuevo. Además, es necesario comprar el nuevo equipamiento, muchas veces por una cantidad considerablemente mayor al precio de venta del antiguo. Por último, está el costo de oportunidad del lugar de la planta o el servicio inactivo durante el periodo del cambio.

Por otro lado, escalar la capacidad con muy poca frecuencia también es muy costoso. Una expansión poco frecuente significa que la capacidad se adquiere en bloques más grandes. Todo exceso de capacidad que se haya adquirido se debe asentar como gasto fijo hasta que se utilice. (La ilustración 4.2 muestra la expansión frecuente de la capacidad frente a la poco frecuente.)

Global


Fuentes externas de capacidad En algunos casos tal vez resulte más barato no aumentar la capacidad en absoluto, sino recurrir a alguna fuente externa de capacidad ya existente. Dos estrategias comunes son la subcontratación y la capacidad compartida. Un ejemplo de subcontratación es Dell Computer, que ensambla sus computadoras portátiles mediante una empresa china. Un ejemplo de capacidad compartida sería el caso de dos líneas aéreas nacionales, que recorren diferentes rutas con distintas demandas estacionales e intercambian aviones (debidamente repintados) cuando las rutas de una son muy utilizadas y las de la otra no. Un nuevo giro en las líneas aéreas que comparten rutas es utilizar el mismo número de vuelo aunque la empresa cambie a lo largo de la ruta. La subcontratación se examina con más detalle en el capítulo 11.


Capacidad decreciente Aunque por lo general pensamos en términos de ampliaciones, reducir la capacidad como respuesta a una menor demanda crea problemas importantes para una empresa. A veces se usan estrategias temporales, como programar menos horas o ampliar periodos de cierre. Las reducciones permanentes en capacidad suelen requerir la venta de equipo o quizás incluso la liquidación de plantas enteras.

CÓMO DETERMINAR LA CAPACIDAD QUE SE REQUERIRÁ

Para determinar la capacidad que se requerirá, se deben abordar las demandas de líneas de productos individuales, capacidades de plantas individuales y asignación de la producción a lo largo y ancho de la red de la planta. Por lo general, esto implica los pasos siguientes:

1. Usar técnicas de pronóstico (vea el capítulo 15) para prever las ventas de los productos individuales dentro de cada línea de productos.
2. Calcular el equipamiento y mano de obra que se requerirá para cumplir los pronósticos de las líneas de productos.
3. Proyectar el equipamiento y la mano de obra disponible durante el horizonte del plan.

Colchón de capacidad

Muchas veces, la empresa decide tener un **colchón de capacidad** que se mantendrá entre los requerimientos proyectados y la capacidad real. Un colchón de capacidad se refiere a la cantidad de capacidad que excede a la demanda esperada. Por ejemplo, si la demanda anual esperada de una instalación es de 10 millones de dólares en productos al año y la capacidad del diseño es de 12 millones de dólares al año, esta tendrá un colchón de capacidad de 20%. Un colchón de capacidad de 20% es igual a un índice de utilización de 83% (100%/120%).

Cuando la capacidad del diseño de una empresa es menor que la capacidad requerida para satisfacer su demanda, se dice que tiene un colchón de capacidad negativo. Por ejemplo, si una empresa tiene una demanda de 12 millones de dólares en productos por año pero solo produce 10 millones de dólares por año, tiene un colchón de capacidad negativo de 16.7%.

A continuación se aplican estos tres pasos a un ejemplo.

EJEMPLO 4.1: Cómo determinar la capacidad que se requerirá

Stewart Company produce aderezos para ensalada de dos sabores: Paul's y Newman's. Los dos se presentan en botellas y sobres individuales de plástico de una porción. La gerencia quiere determinar el equipamiento y mano de obra que se requerirá en los próximos cinco años.

Paso por paso

Solución

Paso 1: *Prediga las ventas de los productos individuales de cada línea de productos con técnicas de pronóstico.* El departamento de marketing, que realiza una campaña promocional del aderezo Newman's, proporcionó los siguientes valores para el pronóstico de la demanda (en miles) para los próximos cinco años. Se espera que la campaña dure los próximos dos años.

	Año				
	1	2	3	4	5
Paul's					
Botellas (millares)	60	100	150	200	250
Sobres individuales de plástico (millares)	100	200	300	400	500
Newman's					
Botellas (millares)	75	85	95	97	98
Sobres individuales de plástico (millares)	200	400	600	650	680

Paso 2: *Calcule el equipo y la mano de obra que se requerirán para cumplir con los pronósticos de las líneas de productos.* Ahora hay tres máquinas disponibles, cada una de las cuales empaca un máximo de 150 000 botellas al año. Cada máquina necesita dos operadores y produce botellas de aderezo tanto de Newman's como de Paul's. Se dispone de seis operadores para las máquinas de botellas. Además, hay cinco máquinas que empacan, cada una, hasta un máximo de 250 000 sobres individuales de plástico al año. Cada máquina que produce sobres individuales de aderezo de Newman's y de Paul's requiere tres operadores. Ahora hay 20 operadores de las máquinas que producen sobres individuales de plástico.

La tabla anterior permite pronosticar el total de las líneas de productos al sumar la demanda anual de botellas y sobres individuales de plástico así:

Excel: Capacidad

	Año				
	1	2	3	4	5
Botellas	135	185	245	297	348
Sobres individuales de plástico	300	600	900	1 050	1 180

Ahora es posible calcular el equipo y la mano de obra que se requerirán para el año en curso (año 1). Como la capacidad total disponible para llenar botellas es de 450 000 al año (3 máquinas × 150 000 cada una), se empleará 135/450 = 0.3 de la capacidad disponible para el año en curso, o 0.3 × 3 = 0.9 máquinas. De igual modo, se necesitará 300/1 250 = 0.24 de la capacidad disponible de sobres individuales de

plástico para el año en curso, o 0.24 × 5 = 1.2 máquinas. El número de personas necesario para sostener la demanda pronosticada del primer año será la plantilla necesaria para las máquinas de las botellas y los sobres individuales de plástico.

La mano de obra requerida para la operación de las botellas en el año 1 es

0.9 botellas máquina × 2 operadores = 1.8 operadores
1.2 máquinas de sobres individuales × 3 operadores = 3.6 operadores

Paso 3: *Proyecte la mano de obra y el equipo disponibles a lo largo del horizonte del plan*. Se repite el cálculo anterior para los años restantes:

	Año				
	1	**2**	**3**	**4**	**5**
Operación de los sobres individuales de plástico					
Porcentaje de capacidad utilizado	24	48	72	84	94
Máquinas requeridas	1.2	2.4	3.6	4.2	4.7
Mano de obra requerida	3.6	7.2	10.8	12.6	14.1
Operación de botellas					
Porcentaje de capacidad utilizado	30	41	54	66	77
Máquinas requeridas	.9	1.23	1.62	1.98	2.31
Mano de obra requerida	1.8	2.46	3.24	3.96	4.62

Existe un colchón de capacidad positivo para los cinco años, porque la capacidad disponible para las dos operaciones siempre excede la demanda esperada. Ahora Stewart Company puede preparar un plan de operaciones o ventas de mediano plazo para las dos líneas de producción. (En el capítulo 16 se estudia la planeación de ventas y operaciones.) ●

EVALUAR OPCIONES DE CAPACIDAD CON ÁRBOLES DE DECISIÓN

Una manera conveniente de evaluar la decisión de invertir en capacidad es emplear árboles de decisión. El formato de árbol no solo sirve para comprender el problema, sino también para encontrar soluciones. Un *árbol de decisión* es un esquema que representa la secuencia de pasos de un problema, y las circunstancias y consecuencias de cada paso. En años recientes se desarrollaron algunos paquetes comerciales de software para elaborar y analizar árboles de decisión. Estos paquetes facilitan y agilizan el proceso.

Los árboles de decisión están compuestos de nodos de decisiones con ramas que llegan y salen de ellos. Por lo general, los cuadros representan los puntos de decisión, y los círculos, los hechos fortuitos. Las ramas que salen de los puntos de decisión muestran las opciones de la persona que toma la decisión; las ramas que salen de los hechos fortuitos muestran las probabilidades de que ocurran.

Para resolver problemas con un árbol de decisión se empieza a analizar el final del árbol y se avanza hacia su inicio. A medida que se retrocede, se calculan los valores esperados de cada paso. Cuando se calcula el valor esperado es importante calcular el valor del dinero en el tiempo si el horizonte del plan es extenso.

Cuando se terminan los cálculos, se "poda" el árbol para eliminar todas las ramas de cada punto de decisión, salvo la que prometa los rendimientos más altos. Este proceso prosigue hasta el primer punto de decisión, de modo que el problema de la decisión queda resuelto.

A continuación se demuestra una aplicación a la planeación de la capacidad de Hackers Computer Store.

EJEMPLO 4.2: Árboles de decisión

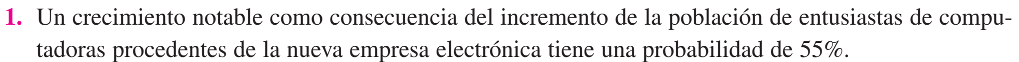
Paso por paso

El dueño de Hackers Computer Store analiza qué hará con su negocio en los próximos cinco años. El crecimiento de las ventas en años recientes ha sido bueno, pero crecerían sustantivamente si, como se ha propuesto, se construye una importante empresa electrónica en su zona. El dueño de Hackers ve tres opciones. La primera es ampliar su tienda actual, la segunda es ubicarla en otro lugar y la tercera es tan solo esperar y no hacer nada. La expansión o la mudanza no tardaría mucho y, por lo mismo, la tienda no perdería ingresos. Si no hiciera

nada en el primer año y hubiera un crecimiento notable, entonces consideraría la decisión de expandirse. Si espera más de un año, la competencia empezaría a llegar y provocaría que la expansión ya no fuera viable.

Servicio

Los supuestos y circunstancias son:



1. Un crecimiento notable como consecuencia del incremento de la población de entusiastas de computadoras procedentes de la nueva empresa electrónica tiene una probabilidad de 55%.
2. Un crecimiento notable en otro lugar produciría un rendimiento anual de 195 000 dólares al año. Un crecimiento flojo en otro lugar significaría un rendimiento anual de 115 000 dólares.
3. Un crecimiento notable con una expansión produciría un rendimiento anual de 190 000 dólares al año. Un crecimiento flojo con una expansión significaría un rendimiento anual de 100 000 dólares.
4. En la tienda existente, sin cambio, el rendimiento anual sería de 170 000 dólares al año con un crecimiento notable y de 105 000 dólares con un crecimiento débil.
5. La expansión del local actual costaría 87 000 dólares.
6. Una mudanza costaría 210 000 dólares.
7. Si el crecimiento es notable y se amplía el local existente en el segundo año, el costo aún sería de 87 000 dólares.
8. Los costos de operaciones son iguales en todas las opciones.

Tutorial: Árboles de decisión

Solución

Se elabora un árbol de decisión para recomendar la mejor acción al dueño de Hackers. La ilustración 4.3 presenta el árbol de decisión de este problema. Hay dos puntos de decisión (presentados en los nodos cuadrados) y tres circunstancias fortuitas (nodos circulares).

Los valores del resultado de cada opción que se presentan a la derecha del diagrama de la ilustración 4.4 se calculan de la manera siguiente:

Alternativa	Ingresos	Costo	Valor
Mudarse a otro lugar, crecimiento notable	\$195 000 × 5 años	\$210 000	\$765 000
Mudarse a otro lugar, crecimiento flojo	\$115 000 × 5 años	\$210 000	\$365 000
Expandir tienda, crecimiento notable	\$190 000 × 5 años	\$87 000	\$863 000
Expandir tienda, crecimiento flojo	\$100 000 × 5 años	\$87 000	\$413 000
No hacer nada por ahora, crecimiento notable, expandirse el año entrante	\$170 000 × 1 año + \$190 000 × 4 años	\$87 000	\$843 000
No hacer nada por ahora, crecimiento notable, no expandirse el año entrante	\$170 000 × 5 años	\$0	\$850 000
No hacer nada por ahora, crecimiento flojo	\$105 000 × 5 años	\$0	\$525 000

Excel: Capacidad

Excel: Árboles de decisión

A partir de las opciones de la derecha, asociadas a la decisión de expandirse o no, se observa que no hacer nada tiene un valor más alto que expandirse. Por tanto, se elimina la expansión en las opciones del segundo año. Esto significa que si no se hace nada en el primer año y se registra un crecimiento notable, entonces no tiene sentido expandirse en el segundo año.

Ahora se calculan los valores esperados asociados a las opciones de decisión actuales. Tan solo se multiplica el valor de la opción por su probabilidad y se suman los valores. El valor esperado para la opción de mudarse ahora es de 585 000 dólares. La opción de la expansión tiene un valor esperado de 660 500 dólares, y no hacer nada por el momento tiene un valor esperado de 703 750 dólares. El análisis indica que la mejor decisión es no hacer nada (por ahora y el año entrante).

Como el horizonte de tiempo es de cinco años, sería conveniente considerar el valor de los ingresos y los flujos de costos en relación con el tiempo cuando se resuelve este problema. Si se supone una tasa de interés de 16%, el resultado de la primera opción (mudarse ahora, crecimiento notable) tiene un ingreso descontado por valor de 428 487 dólares (195 000 × 3.274293654) menos el costo de 210 000 dólares por mudarse en seguida. La ilustración 4.5 muestra el análisis considerando los flujos descontados. A continuación se presentan los detalles de los cálculos. En la tabla de valor presente del apéndice E se presentan los factores de descuento. Para que los cálculos coincidan con los de Excel, se calcularon factores de descuento con una precisión de 10 dígitos. El único cálculo un poco engañoso es el de los ingresos cuando no se hace nada por el momento y la expansión se hace al principio del año entrante. En tal caso, se tiene un flujo de ingresos de 170 000 dólares el primer año, seguido de cuatro años con 190 000 dólares. La primera parte del cálculo (170 000 × 0.862068966) descuenta los ingresos del primer año al momento presente. La

ILUSTRACIÓN 4.3 Árbol de decisión para el problema de Hackers Computer Store.

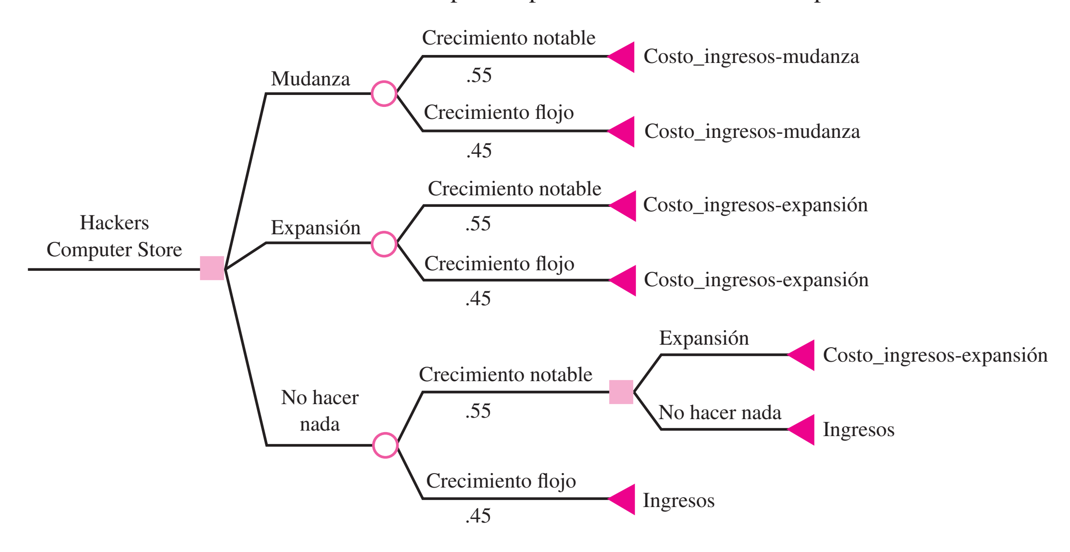
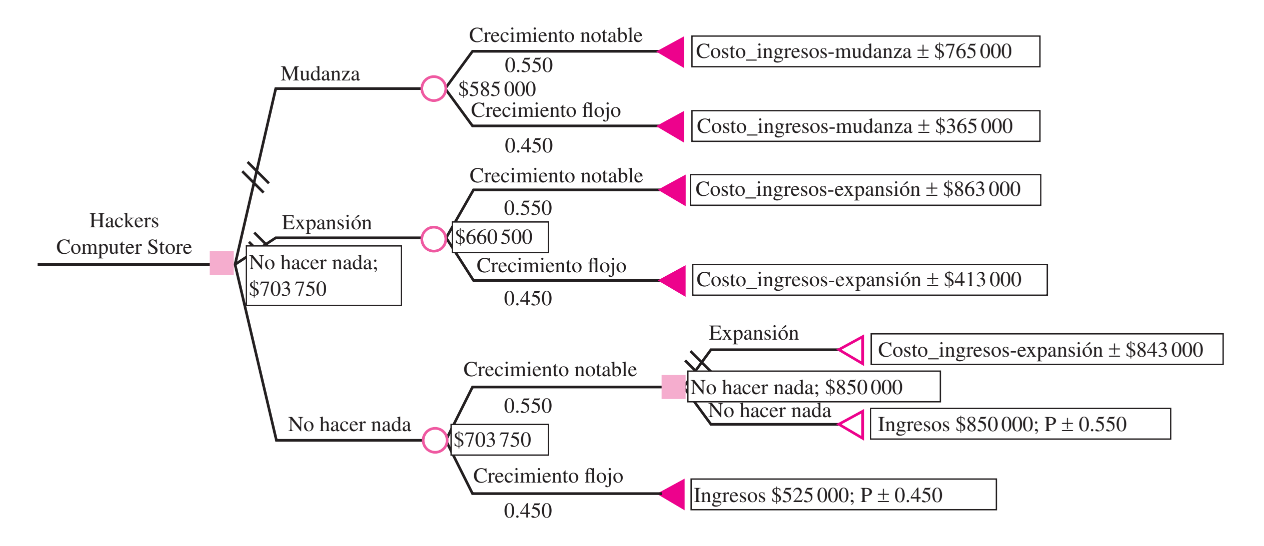


ILUSTRACIÓN 4.4 Análisis del árbol de decisión.

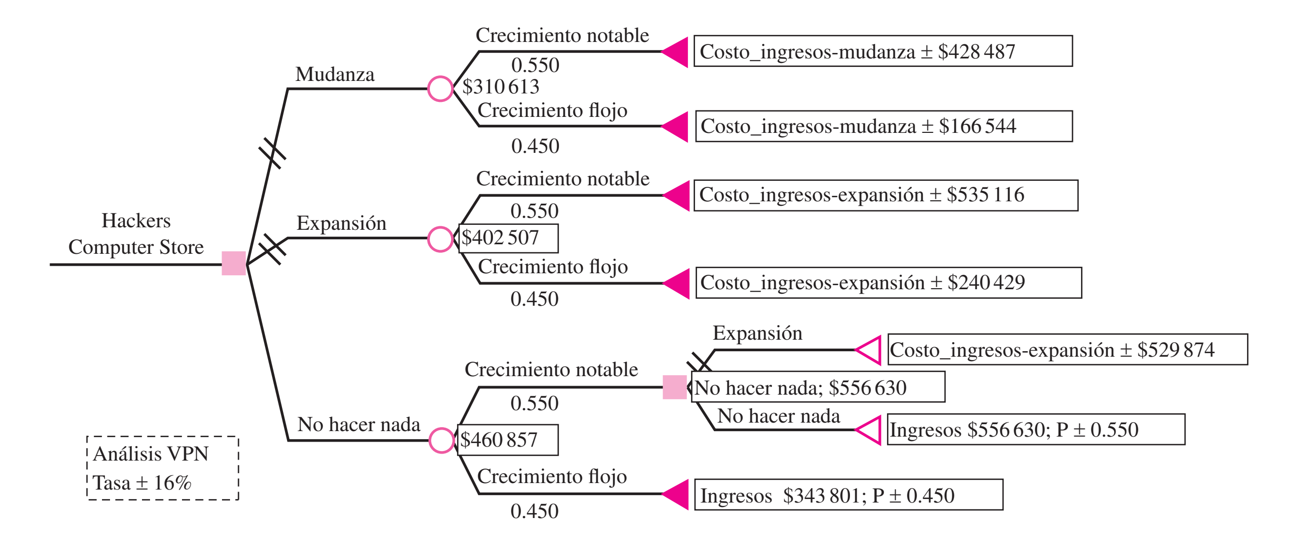


siguiente parte (190 000 × 2.798180638) descuenta los próximos cuatro años al principio del año dos. A continuación, se descuenta el flujo de cuatro años a valor presente.

Alternativa	Ingresos	Costo	Valor
Mudarse a otro lugar, crecimiento notable	$195 000 × 3.274293654	$210 000	$428 487
Mudarse a otro lugar, crecimiento flojo	$115 000 × 3.274293654	$210 000	$166 544
Expandir tienda, crecimiento notable	$190 000 × 3.274293654	$87 000	$535 116
Expandir tienda, crecimiento flojo	$100 000 × 3.274203654	$87 000	$240 429
No hacer nada por ahora, crecimiento notable, expandirse el año entrante	($170 000 × 0.862068966 + $190 000 × 2.798180638 × 0.862068966)	($87 000 × 0.862068966)	$529 874
No hacer nada por ahora, crecimiento notable, no expandirse el año entrante	$170 000 × 3.274293654	$0	$556 630
No hacer nada por ahora, crecimiento flojo	$105 000 × 3.274293654	$0	$343 801

Excel: Árboles de decisión

ILUSTRACIÓN 4.5 Análisis de árbol de decisión con cálculo de valor presente neto.



Planeación de capacidad en servicios

PLANEACIÓN DE CAPACIDAD EN SERVICIOS O EN MANUFACTURA

Servicio

Si bien la planeación de la capacidad en los servicios está sujeta a muchas de las mismas cuestiones que la planeación de la capacidad en la manufactura y el cálculo del tamaño de las instalaciones se efectúan de manera muy parecida, existen algunas diferencias importantes entre ellas. La capacidad en los servicios depende más del tiempo y la ubicación está sujeta a las fluctuaciones de una demanda más volátil, y su utilización repercute directamente en la calidad de los servicios.

Tiempo Los servicios, a diferencia de los bienes, no se pueden guardar para usarlos más adelante. Así, los gerentes de servicios deben considerar el tiempo como a un proveedor. Debe haber capacidad disponible para producir un servicio en el momento que se necesita. Por ejemplo, un asiento que no estuvo ocupado en el vuelo anterior de una línea aérea no se le puede proporcionar a un cliente si el vuelo actual está completo. El cliente tampoco puede comprar un asiento en el vuelo de un día particular y llevárselo a casa para usarlo más adelante.

Ubicación En instalaciones personales, la capacidad del servicio se debe ubicar cerca del cliente. En el caso de la manufactura, cuando ha ocurrido la producción, los bienes se distribuyen para que lleguen al cliente. Sin embargo, en el caso de los servicios ocurre justo lo contrario. Primero se debe distribuir la capacidad para brindar el servicio (sea de forma física o a través de un medio de comunicación como el teléfono) y a continuación generar el servicio. Una habitación de hotel o un automóvil rentado disponibles en otra ciudad no le sirven de nada al cliente: deben estar en el lugar donde el cliente los necesita.

Volatilidad de la demanda La volatilidad de la demanda de un sistema de prestación de servicios es mucho mayor que en un sistema de producción de manufactura por tres razones. En primer término, como ya se mencionó, los servicios no se pueden guardar. Esto significa que el inventario no puede nivelar la demanda como en el caso de la manufactura. La segunda razón es que los clientes interactúan directamente con el sistema de producción, y estos clientes muchas veces tienen necesidades diferentes, distintos niveles de experiencia con el proceso y tal vez requieran diferente número de transacciones. Lo anterior contribuye a una variabilidad mucho mayor en el tiempo de procesamiento que se requiere para cada cliente y, por lo mismo, a una mayor variabilidad de la capacidad mínima que se necesita. La tercera razón que explica la

mayor volatilidad de la demanda en los servicios es que el comportamiento de los consumidores la afecta directamente. Las influencias en el comportamiento del cliente, desde el clima hasta un hecho mayor, afectan directamente la demanda de distintos servicios. Si usted acude a un restaurante cerca de su universidad en tiempo de vacaciones es probable que lo encuentre casi vacío. Este efecto conductual es evidente incluso en periodos más breves, como los amontonamientos en la ventanilla del banco a la hora de la comida o el repentino brote de órdenes de pizza durante el medio tiempo del domingo del Super Tazón. Por esta volatilidad, la capacidad en los servicios se suele planear en incrementos de tan solo 10 a 30 minutos, a diferencia de los incrementos de una semana comunes en la manufactura.

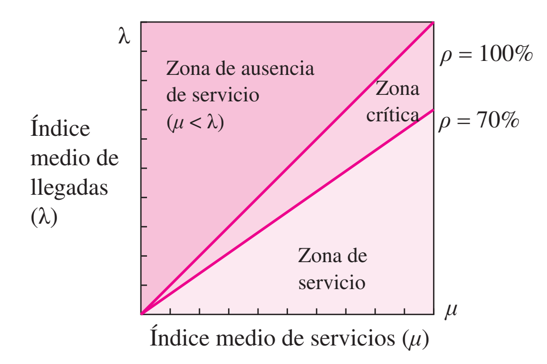
Servicio

UTILIZACIÓN DE LA CAPACIDAD Y CALIDAD DE SERVICIOS

La planeación de los niveles de capacidad en los servicios debe tomar en cuenta la relación diaria entre la utilización del servicio y su calidad. La ilustración 4.6 plantea una situación de servicios en términos de una fila de espera (índices de llegada e índices de servicio). El término índice de llegada se refiere al número promedio de clientes que llegan a la planta durante un periodo específico. El índice de servicio es el número promedio de clientes que se procesa durante el mismo periodo cuando la planta opera a su máxima capacidad. El mejor punto de operación es cercano al 70% de la capacidad máxima. Esto es suficiente para mantener ocupados a quienes atienden, pero permite tiempo suficiente para atender a los clientes de manera individual y mantener suficiente capacidad en reserva para no crear demasiados dolores de cabeza a la gerencia. En la zona crítica, los clientes pasan por el proceso del sistema, pero la calidad del servicio disminuye. Por encima de la zona crítica, la línea crece y es probable que muchos clientes jamás lleguen a ser atendidos.

ILUSTRACIÓN 4.6

Relación entre el índice de utilización del servicio (ρ) y su calidad.



Fuente: J. Haywood-Farmer y J. Nollet, *Services Plus: Effective Service Management*, Boucherville, Quebec, Canadá, G. Morin, 1991, p. 59.

El índice óptimo de utilización es específico del contexto. Cuando el grado de incertidumbre y la apuesta son muy altos, entonces los índices bajos son adecuados. Por ejemplo, las salas de urgencias de los hospitales y las estaciones de bomberos deben buscar una escasa utilización debido al elevado grado de incertidumbre y el carácter de vida o muerte de sus actividades. Los servicios relativamente previsibles, como los de trenes suburbanos, o las instalaciones de servicios que no tienen contacto con los clientes, como las operaciones de clasificación de correo, pueden planear sus operaciones con un nivel de utilización mucho más próximo a 100%. Cabe señalar que existe un tercer grupo para el cual es deseable una elevada utilización. A todos los equipos deportivos les gusta que se agoten las localidades, no solo porque el margen de contribución de cada cliente es prácticamente de 100%, sino porque la casa llena crea un ambiente que agrada a los clientes, motiva al equipo de casa a desempeñarse mejor y alienta las ventas futuras de entradas. Los espectáculos en escenarios y bares comparten este fenómeno. Por otro lado, muchos pasajeros de líneas aéreas piensan que un vuelo está demasiado lleno cuando el asiento junto al suyo va ocupado. Las líneas aéreas capitalizan esta respuesta al vender más asientos en clase ejecutiva.

Resumen

La planeación estratégica de la capacidad implica una decisión de invertir en la cual las capacidades de recursos deben coincidir con el pronóstico de la demanda de largo plazo. Como ya se explicó en este capítulo, algunos factores que se deben tomar en cuenta para decidir si se aumenta la capacidad en el caso de la manufactura y también de los servicios son:

- Los efectos probables de las economías de escala.
- Las repercusiones de cambiar el enfoque de las instalaciones y el equilibrio entre las etapas de producción.
- El grado de flexibilidad de las instalaciones y de la fuerza de trabajo en la operación y su sistema de suministro.

Servicio

En el caso particular de los servicios, una consideración fundamental es el efecto de los cambios de capacidad en la calidad del servicio.

Conceptos clave

Planeación estratégica de la capacidad Determinar el nivel general de capacidad de los recursos de capital intensivo que mejor apoye la estrategia competitiva de la empresa en el largo plazo.

Capacidad Monto de producción que un sistema es capaz de alcanzar en un periodo específico.

Mejor nivel de operación El nivel de capacidad para el que se diseñó el proceso y el volumen de producción con el cual se reduce al mínimo el costo promedio por unidad.

Índice de utilización de la capacidad Mide cuánto se acerca la empresa a su mejor nivel de operación.

Economías de escala La noción es que cuando una planta crece y aumenta el volumen, baja el costo promedio por unidad.

Fábrica enfocada Fábrica con un conjunto de objetivos de producción más bien limitado. Por lo general, el enfoque se relacionaría con un producto o grupo de productos específico.

Planta dentro de una planta (PDP) Concepto para operar una fábrica enfocada con la designación de un área específica en una planta más amplia.

Economías de alcance Se presentan cuando se producen múltiples productos con un costo más bajo combinados que por separado.

Colchón de capacidad Capacidad que excede a la demanda esperada.

Revisión de fórmula

Porcentaje de utilización de capacidad

$$\text{Porcentaje de utilización de capacidad} = \frac{\text{Capacidad utilizada}}{\text{Mejor nivel de operación}} \qquad \textbf{(4.1)}$$

Problema resuelto

E-Education es un negocio nuevo que prepara y comercializa cursos de maestría en administración por internet. La empresa tiene su sede en Chicago y cuenta con 150 empleados. Debido a un crecimiento notable, la compañía necesita más espacio de oficinas. Tiene la opción de arrendar espacio adicional en su actual ubicación en Chicago para dos años más, pero después tendrá que mudarse a otro edificio. Otra opción que considera la empresa es mudar en seguida la operación entera a un pequeño pueblo del oeste medio. Una tercera opción es arrendar de inmediato otro edificio en Chicago. Si se elige la primera opción y arrienda más espacio en su ubicación actual, al paso de dos años, la empresa podría arrendar otro edificio en Chicago o mudarse al pequeño pueblo del oeste medio.

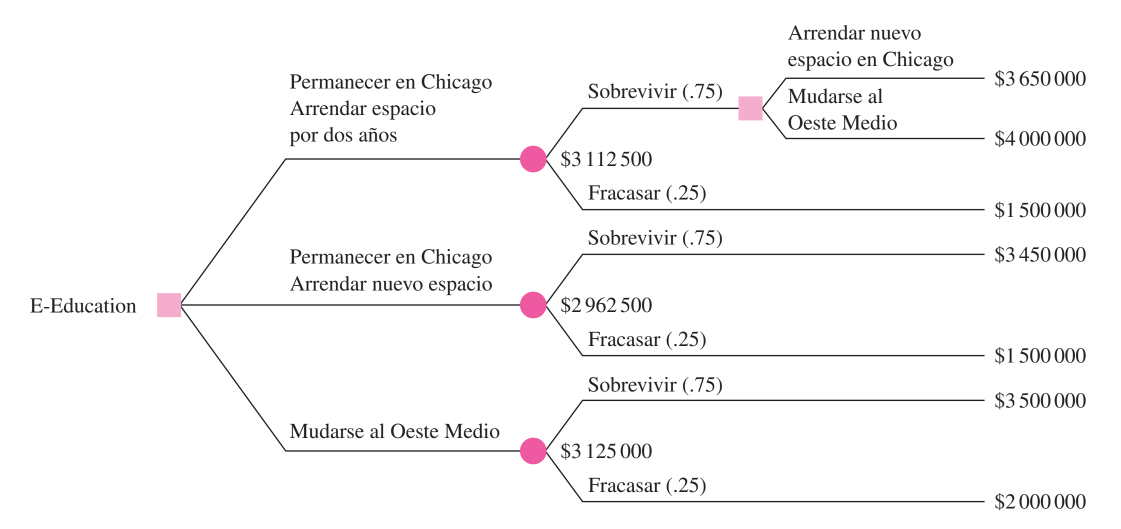
A continuación se presentan algunos datos adicionales sobre las opciones y la situación actual.

1. La compañía tiene 75% de probabilidad de sobrevivir los siguientes dos años.
2. Arrendar el nuevo espacio en su actual ubicación en Chicago durante dos años costaría 750 000 dólares al año.
3. Mudar la operación entera a un pueblo del oeste medio costaría 1 millón de dólares. Arrendar espacio solo costaría 500 000 dólares al año.
4. Mudarse a otro edificio en Chicago costaría 200 000 dólares, y arrendar más espacio en el edificio costaría 650 000 dólares al año.
5. La empresa puede cancelar el contrato de arrendamiento en cualquier momento.
6. La compañía construiría su propio edificio dentro de cinco años, si sobrevive.
7. Suponga que todos los demás costos e ingresos no cambian sin importar el lugar donde se ubique la empresa.

¿Qué debe hacer E-Education?

Solución

Paso 1: *Elabore un árbol de decisión que incluya todas las opciones de E-Education*. A continuación se presenta un árbol donde los puntos de decisión (nodos cuadrados) van seguidos de los hechos fortuitos (nodos circulares). En el caso del primer punto de decisión, si la empresa sobrevive se deben considerar otros dos puntos de decisión.



Paso 2: *Calcular los valores de cada opción como sigue:*

Alternativa	Costo	Valor
Permanecer en Chicago, arrendar espacio para dos años, sobrevivir, arrendar otro edificio en Chicago	(750 000) × 2 + 200 000 + (650 000) × 3 =	$3 650 000
Permanecer en Chicago, arrendar espacio para dos años, sobrevivir, mudarse al Oeste Medio	(750 000) × 2 + 1 000 000 + (500 000) × 3 =	$4 000 000
Permanecer en Chicago, arrendar espacio para dos años, fracasar	(750 000) × 2 =	$1 500 000
Permanecer en Chicago, arrendar otro edificio en Chicago, sobrevivir	200 000 + (650 000) × 5 =	$3 450 000
Permanecer en Chicago, arrendar otro espacio en Chicago, fracasar	200 000 + (650 000) × 2 =	$1 500 000
Mudarse al Oeste Medio, sobrevivir	1 000 000 + (500 000) × 5 =	$3 500 000
Mudarse al Oeste Medio, fracasar	1 000 000 + (500 000) × 2 =	$2 000 000

A partir de las opciones del extremo derecho, las primeras dos terminan en nodos de decisión. Como la primera opción, la de permanecer en Chicago y arrendar espacio para dos años, representa el costo más bajo, esto se haría si se decide permanecer en Chicago durante los dos primeros años. Si se fracasa después de los primeros dos años, representado por la tercera opción, el costo es solo 1 500 000 dólares. El valor esperado de la primera opción de permanecer en Chicago y arrendar espacio para los primeros dos años es 0.75 × 3 650 000 + 0.25 × 1 500 000 = 3 112 500 dólares.

La segunda opción, permanecer en Chicago y arrendar de inmediato otro edificio, tiene un valor esperado de 0.75 × 3 450 000 + 0.25 × 1 500 000 = 2 962 500 dólares.

Por último, la tercera opción de mudarse al Oeste Medio en seguida tiene un valor esperado de 0.75 × 3 500 000 + 0.25 × 2 000 000 = 3 125 000 dólares.

Con base en lo anterior, parece que lo mejor es permanecer en Chicago y arrendar otro edificio de inmediato.

Preguntas de repaso y análisis

1. ¿Qué problemas de capacidad surgen cuando se lanza un nuevo fármaco al mercado?
2. Enumere algunos límites prácticos para las economías de escala; es decir, ¿cuándo debe dejar de crecer una planta?

3. ¿Cuáles son algunos problemas del equilibrio de la capacidad que afrontan las organizaciones o las instalaciones siguientes?
   a) La terminal de una línea aérea.
   b) El laboratorio de computación de una universidad.
   c) Un fabricante de ropa.
4. ¿Cuáles son algunas de las consideraciones más importantes en torno a la capacidad en el caso de un hospital? ¿En qué difieren de las de una fábrica?
5. La administración puede optar por aumentar la capacidad anticipándose a la demanda o en respuesta a la demanda creciente. Mencione las ventajas y desventajas de los dos planteamientos.
6. ¿Qué quiere decir equilibrio de la capacidad? ¿Por qué es difícil de lograr? ¿Con qué métodos se resuelven los desequilibrios de la capacidad?
7. ¿Cuáles son algunas razones que llevan a una planta a tener un colchón de capacidad? ¿Qué puede decir de un colchón negativo de capacidad?
8. A primera vista, parece que los conceptos de fábrica enfocada y flexibilidad de capacidad se contraponen. ¿Lo hacen en realidad?

Problemas

1. AlwaysRain Irrigation, Inc., quiere determinar la capacidad que requerirá en los próximos cuatro años. En la actualidad cuenta con dos líneas de producción de rociadores de bronce y de plástico. Los rociadores de bronce y los de plástico vienen en tres presentaciones: rociadores con boquilla de 90 grados, rociadores con boquilla de 180 grados y rociadores con boquilla de 360 grados. La gerencia pronostica la demanda siguiente para los siguientes cuatro años:

	Demanda anual			
	1 (en miles)	**2 (en miles)**	**3 (en miles)**	**4 (en miles)**
Plástico 90	32	44	55	56
Plástico 180	15	16	17	18
Plástico 360	50	55	64	67
Bronce 90	7	8	9	10
Bronce 180	3	4	5	6
Bronce 360	11	12	15	18

Las dos líneas de producción pueden fabricar todos los tipos de boquillas. Cada máquina de bronce requiere dos operadores y produce un máximo de 12 000 rociadores. La moldeadora de inyección de plástico requiere cuatro operadores y produce un máximo de 200 000 rociadores. La empresa tiene tres máquinas de bronce y solo una moldeadora de inyección. ¿Qué capacidad requerirá para los próximos cuatro años? (Suponga que no hay aprendizaje.)

2. Suponga que el departamento de marketing de AlwaysRain Irrigation iniciará una campaña intensiva de los rociadores de bronce, más caros pero también más durables que los de plástico. La demanda prevista para los próximos cuatro años es:

	Demanda anual			
	1 (en miles)	**2 (en miles)**	**3 (en miles)**	**4 (en miles)**
Plástico 90	32	44	55	56
Plástico 180	15	16	17	18
Plástico 360	50	55	64	67
Bronce 90	11	15	18	23
Bronce 180	6	5	6	9
Bronce 360	15	16	17	20

¿Cuáles son las implicaciones de la campaña de marketing en la capacidad? (Suponga que no hay aprendizaje.)

3. Anticipándose a la campaña publicitaria, AlwaysRain compró una máquina adicional de bronce. ¿Bastará para garantizar que la empresa tenga capacidad suficiente?
4. Suponga que los operadores cuentan con bastante preparación para operar las máquinas de bronce y la moldeadora de inyección de los rociadores de plástico. En la actualidad, AlwaysRain tiene 10

empleados de este tipo. En anticipación a la campaña publicitaria descrita en el problema 2, la gerencia autorizó la compra de dos máquinas adicionales de bronce. ¿Cuáles son las implicaciones para la mano de obra que requerirá?

5. Expando, Inc., considera la posibilidad de construir una fábrica adicional para su línea de productos. En la actualidad, la compañía considera dos opciones. La primera es una instalación pequeña cuya edificación costaría 6 millones de dólares. Si la demanda de los nuevos productos es floja, la compañía espera recibir 10 millones de dólares en forma de ingresos descontados (valor presente de ingresos futuros) con la fábrica pequeña. Por otro lado, si la demanda es mucha, espera 12 millones de dólares por concepto de ingresos descontados con la fábrica pequeña. La segunda opción es construir una fábrica grande con un costo de 9 millones de dólares. Si la demanda fuera poca, la compañía esperaría 10 millones de dólares de ingresos descontados con la planta grande. Si la demanda es mucha, la compañía estima que los ingresos descontados sumarían 14 millones de dólares. En los dos casos, la probabilidad de que la demanda sea mucha es 0.40, y la probabilidad de que sea poca, 0.60. Si no construye una nueva fábrica no se generarían ingresos adicionales porque las fábricas existentes no pueden producir estos nuevos productos. Elabore un árbol de decisión que ayude a Expando a determinar la mejor opción.
6. Una constructora encontró un terreno que quiere adquirir para construir en él más adelante. En la actualidad, el terreno está clasificado para contener cuatro casas por acre, pero piensa solicitar un cambio de clasificación. Lo que construya depende de la autorización del cambio que piensa solicitar y del análisis que usted haga de este problema para aconsejarla. Con la información del problema y la intervención de usted, el proceso de decisión se reduce a los costos, opciones y probabilidades siguientes:

   Costo del terreno: 2 millones de dólares.

   Probabilidad de cambio de clasificación: .60.

   Si el terreno se reclasifica habrá 1 millón de dólares de costos adicionales por concepto de nuevas calles, alumbrado, etcétera.

   Si el terreno se reclasifica el contratista debe decidir si construye un centro comercial o 1 500 departamentos, como un plan tentativo muestra que sería factible. Si se construye un centro comercial, existe 70% de probabilidad de que lo pueda vender a una cadena de tiendas de departamentos por 4 millones de dólares más que su costo de construcción, excluyendo el costo del terreno; y existe 30% de probabilidad de que lo pueda vender a una compañía aseguradora por 5 millones de dólares por encima de su costo de construcción (también excluyendo el terreno). En cambio, si en lugar del centro comercial decide construir los 1 500 departamentos, su cálculo de las probabilidades de utilidad son: 60% de probabilidad de vender los departamentos a una compañía de bienes raíces por 3 000 dólares cada uno por encima de su costo de construcción; 40% de probabilidad de que solo obtenga 2 000 dólares de cada uno sobre su costo de construcción (los dos excluyen el costo del terreno).

   Si el terreno no se reclasifica, se cumplirá con las restricciones existentes de la clasificación actual y simplemente construirá 600 casas, en cuyo caso espera ganar 4 000 dólares sobre el costo de construcción por cada una (excluyendo el costo del terreno).

   Prepare un árbol de decisión del problema y determine la mejor solución y la utilidad neta esperada.

CASO: HOSPITAL SHOULDICE. UN CORTE SUPERIOR

"Hospital Shouldice, la casa construida por hernias, es una casa de campo modificada que imprime al hospital el atractivo de 'un club de campo'."

Cita de *American Medical News*

El Hospital Shouldice de Canadá es muy conocido por una cosa: tratamiento de hernias. De hecho, es la única operación que hace, y hace muchas. En los pasados 20 años este pequeño hospital de 90 camas registró un promedio de 7 000 operaciones anuales. El año pasado rompió su récord y realizó cerca de 7 500 operaciones. Los nexos de los pacientes con Shouldice no terminan cuando abandonan el hospital. Cada año, la cena de gala Hernia Reunion (con una revisión gratis de hernias) atrae a más de mil ex pacientes, algunos de quienes asisten al evento desde hace más de 30 años.

Una serie de características destacadas del sistema de Shouldice para brindar sus servicios contribuye a su éxito. 1) Shouldice solo acepta pacientes con hernias externas poco complicadas y utiliza una técnica superior inventada por el doctor Shouldice durante la Segunda Guerra Mundial para este tipo de hernia. 2) Se somete muy pronto a los pacientes al tratamiento con movimiento, lo cual propicia su curación. (Los pacientes literalmente salen caminando de la mesa de operaciones y practican un ejercicio ligero a lo largo de toda su estancia, que solo dura tres días.) 3) Su ambiente de club de campo, el amable personal de enfermería y la socialización inherente hacen que sea una experiencia asombrosamente agradable, derivada de un problema médico de por sí desagradable. Se destinan horarios regulares para tomar té y galletas, y para socializar. Todos los pacientes están en pareja con un compañero de cuarto que tiene antecedentes e intereses similares.

ILUSTRACIÓN 4.7 Operaciones con 90 camas (30 pacientes al día).

	Camas requeridas						
Día de admisión	**Lunes**	**Martes**	**Miércoles**	**Jueves**	**Viernes**	**Sábado**	**Domingo**
Lunes	30	30	30				
Martes		30	30	30			
Miércoles			30	30	30		
Jueves				30	30	30	
Viernes							
Sábado							
Domingo	30	30					30
Total	**60**	**90**	**90**	**90**	**60**	**30**	**30**

Sistema de producción

Las instalaciones médicas de Shouldice son cinco quirófanos, una sala de recuperación, un laboratorio y seis habitaciones para revisiones. Shouldice realiza, en promedio, 150 operaciones por semana y los pacientes por lo general permanecen tres días en el hospital. Aunque las operaciones solo se realizan cinco días a la semana, el resto del hospital opera en forma continua para atender a los pacientes en recuperación.

Uno de los 12 cirujanos de tiempo completo del Hospital Shouldice realiza la operación, con asistencia de uno de los siete cirujanos auxiliares de medio tiempo. Los cirujanos por lo general toman una hora para prepararse y realizar cada operación de hernia, y atienden a cuatro pacientes al día. La jornada del cirujano termina a las 4 p.m., con una guardia nocturna cada 14 días y de fin de semana cada 10 semanas.

La experiencia en Shouldice

Cada paciente se somete a exámenes preoperatorios antes de establecer la fecha para su intervención. Se sugiere a los pacientes del área de Toronto que acudan a la clínica para un diagnóstico. Los estudios se hacen entre las 9 a.m. y las 3:30 p.m., de lunes a viernes, y de 10 a.m. a 2 p.m. los sábados. A los pacientes que no viven en la ciudad se les envía por correo un cuestionario para que proporcionen la información médica (también disponible en internet) que se necesita para el diagnóstico. Se niega el tratamiento a un pequeño porcentaje de los pacientes porque están pasados de peso o representan algún otro riesgo médico impropio. Los pacientes restantes reciben tarjetas de confirmación con la fecha programada para su operación. El expediente del paciente se envía a la oficina de recepción una vez confirmada la fecha de admisión.

Los pacientes se presentan en la clínica entre la 1 y las 3 p.m. del día anterior a la intervención. Tras una breve espera se someten a un sencillo estudio preoperatorio. A continuación se les envía con un empleado de admisiones para los trámites correspondientes. Después, los pacientes acuden a una de las dos estaciones de enfermería para análisis de sangre y orina y, después, se les acompaña a su habitación. Durante el periodo previo a la orientación acomodan sus cosas y conocen a sus compañeros de habitación.

La orientación empieza a las 5 p.m. y después se sirve la cena en el comedor general. Esa misma noche, a las 9 p.m., los pacientes se reúnen en un salón para tomar té y galletas. Así, los recién llegados charlan con los que ya han sido operados. La hora de dormir es entre las 9:30 y las 10 p.m.

El día de la operación se despierta a los pacientes programados a las 5:30 a.m. para la anestesia previa. Las primeras operaciones inician a las 7:30 a.m. Poco antes de que empiece la operación, se administra al paciente anestesia local, dejándolo alerta y totalmente consciente de lo que ocurre. Al término de la operación se invita al paciente a que camine de la mesa de operaciones a una silla de ruedas cercana, que lo espera para llevarlo a su habitación. Tras un breve periodo de reposo, se recomienda al paciente que se ponga de pie y haga ejercicio. A las 9 p.m. de ese mismo día, el paciente está en el salón tomando té y galletas, y charlando con los pacientes que acaban de ingresar.

Al día siguiente se le aflojan algunos clips que unen la piel de la incisión y se retiran otros. Se extraen los restantes a la mañana siguiente, justo antes de dar de alta al paciente.

Cuando el Hospital Shouldice empezó, la internación promedio en el hospital por una operación de hernia era de tres semanas. Hoy en día, muchas instituciones son partidarias de la "cirugía ambulatoria" por diversas razones. El Hospital Shouldice cree con firmeza que esto no es lo que más conviene a los pacientes y está convencido de su proceso de tres días. El programa de rehabilitación postoperatoria de Shouldice está diseñado para que el paciente reanude sus actividades normales con un mínimo de interrupción y malestar. Los pacientes de Shouldice con frecuencia regresan a trabajar en unos cuantos días, con un tiempo total promedio de ocho días.

"Es interesante señalar que, de cada cien pacientes de Shouldice, uno es un médico."

Planes

La gerencia de Shouldice piensa expandir la capacidad del hospital para cubrir una cantidad considerable de demanda que en la actualidad no cubre. Para tal efecto, el vicepresidente considera seriamente dos opciones. La primera implica añadir un día más de operaciones (sábados) al calendario actual de cinco días, lo cual incrementaría la capacidad 20%. La otra opción es añadir otro piso de habitaciones al hospital, para incrementar 50% el número de camas. Esto requeriría una programación más intensa de los quirófanos.

Sin embargo, al administrador del hospital le preocupa conservar el control de la calidad de los servicios brindados. Considera que el hospital ya se utiliza debidamente. Los médicos y el personal están contentos con su trabajo, y los pacientes están satisfechos con el servicio. En su opinión, una expansión de la capacidad dificultaría la posibilidad de mantener el mismo tipo de relaciones y actitudes laborales.

Preguntas

La ilustración 4.7 es una tabla de la ocupación de habitaciones con el sistema existente. Cada renglón de la tabla sigue a los pacientes que ingresaron en un día dado. Las columnas indican el número de

pacientes en el hospital un día dado. Por ejemplo, el primer renglón de la tabla muestra que el lunes ingresaron 30 personas y permanecieron en el hospital hasta el miércoles. Si se suman las columnas de la tabla que corresponden al miércoles se verá que ese día había 90 pacientes en el hospital.

1. ¿Qué tan bien utiliza el hospital actualmente sus camas?
2. Prepare una tabla similar para mostrar los efectos que tendría añadir operaciones los sábados. (Suponga que de cualquier manera se realizarían 30 operaciones cada día.) ¿Cómo afectaría esto la utilización de la capacidad de camas? ¿Esta capacidad bastaría para los pacientes adicionales?
3. Ahora analice el efecto de un incremento de 50% en el número de camas. ¿Cuántas operaciones podría realizar el hospital al día antes de quedarse sin capacidad de camas? (Suponga que las operaciones se realizan cinco días a la semana, con el mismo número de operaciones cada día.) ¿Cómo se utilizarían los nuevos recursos en comparación con la operación actual? ¿El hospital de verdad puede realizar esta cantidad de operaciones? ¿Por qué? (*Sugerencia:* Analice la capacidad de los 12 cirujanos y los cinco quirófanos.)
4. Aunque los datos financieros son muy generales, el cálculo de una constructora indica que sumar capacidad de camas costaría alrededor de 100 000 dólares por cama. Además, el monto cobrado por la cirugía de hernia varía entre 900 dólares y 2 000 dólares, con un promedio de 1 300 dólares por operación. Los cirujanos reciben 600 dólares cerrados por operación. Debido a la incertidumbre por las leyes relativas a los servicios de salud, Shouldice querría justificar una expansión dentro de un periodo de cinco años.

Cuestionario

1. Nivel de capacidad para el cual se diseñó un proceso y mediante el cual opera con un costo mínimo.
2. Una fábrica tiene una capacidad máxima de 4 000 unidades diarias con tiempo extra y sin el mantenimiento diario. Con 3 500 unidades diarias, la fábrica opera en un nivel en el que se reduce el costo unitario promedio. En la actualidad, el proceso está programado para operar en un nivel de 3 000 unidades diarias. ¿Cuál es la tasa de utilización de capacidad?
3. Concepto relativo a la obtención de eficiencia mediante la utilización completa de recursos dedicados, como mano de obra y equipo.
4. Instalaciones fabriles que limitan su producción a un producto único o a un conjunto de productos muy semejantes.
5. Término con que se designa la fabricación de múltiples productos (por lo general, semejantes) en una instalación con menos costos que un producto único.
6. Se tiene cuando se cuenta con la capacidad de atender a más clientes de los que se espera.
7. Al considerar una expansión de capacidad se tienen dos alternativas. Se espera que la primera cueste 1 millón de dólares, con una ganancia de 500 000 dólares durante los siguientes tres años. La segunda alternativa tiene un costo esperado de 800 000 dólares y una ganancia esperada de 450 000 dólares los tres años siguientes. ¿Qué alternativa se debe seleccionar, y cuál es el valor esperado de la expansión? Suponga una tasa de interés de 10%.
8. En un proceso de servicio como el del cobro en la caja de una tienda de descuento, una buena meta de utilización de capacidad es más o menos de este porcentaje.

1. Mejor nivel operativo 2. 85% 3. Economías de escala 4. Fábrica enfocada 5. Economías de alcance 6. Colchón de capacidad 7. Alternativa 1 Valor presente = 500 000 × (.909 + .826 + .751) ∠ 1 000 000 = $243 000, Alternativa 2 Valor presente = 450 000 × (.909 + .826 + .751) ∠ 800 000 = $318 700, la alternativa 2 es la mejor 8. 70 por ciento.

Bibliografía seleccionada

Wright, T. P., "Factors Affecting the Cost of Airplanes", *Journal of Aeronautical Science,* febrero de 1936, pp. 122-128.

Yu-Lee, R. T., *Essentials of Capacity Management*, Nueva York, Wiley, 2002.

Capítulo 4A

CURVAS DE APRENDIZAJE

Después de leer este capítulo, usted:

1. Entenderá qué son las curvas de aprendizaje y cómo calcularlas.
2. Aplicará curvas de aprendizaje para calcular el costo de fabricar productos en el futuro.
3. Describirá cómo mejoran las empresas con base en capacitación individual y de la organización.

Aplicación de las curvas de aprendizaje

Curva de aprendizaje

Una **curva de aprendizaje** es una línea que muestra la relación entre el tiempo de producción de una unidad y el número acumulado de unidades producidas. La teoría de la curva de aprendizaje (o experiencia) tiene múltiples aplicaciones en el mundo empresarial; en el caso de la manufactura, con ella se calcula el tiempo que tarda el diseño y elaboración de un producto, así como sus costos. Las curvas de aprendizaje son importantes, pero en ocasiones se sacrifican en aras de los sistemas justo a tiempo (JIT), en los cuales las secuencias y corridas cortas logran reducir los inventarios pero descartan algunos beneficios que se derivan de la experiencia de las corridas largas de productos. Las curvas de aprendizaje también forman parte integral de la planeación de la estrategia de la empresa, como decisiones de precios, inversión de capital y costos de operación basados en las curvas de aprendizaje.

Aprendizaje individual

Aprendizaje organizacional

Las curvas de aprendizaje son aplicables a personas u organizaciones. El **aprendizaje individual** es la mejora resultante de que las personas repitan un proceso y adquieran habilidad o eficiencia en razón de su propia experiencia. Es decir, "la práctica hace al maestro". El **aprendizaje organizacional** también se deriva de la práctica, pero además proviene de cambios en la administración, equipamiento y el diseño del producto. En contextos organizacionales cabe esperar que ambos tipos de aprendizaje sean simultáneos, y su efecto combinado muchas veces se describe con una sola curva de aprendizaje.

La teoría de la curva de aprendizaje parte de tres supuestos:

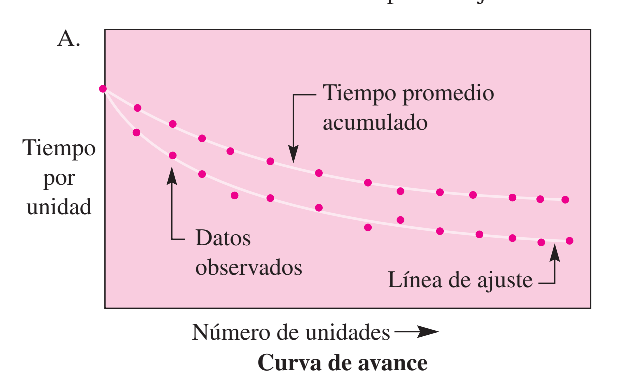
1. El tiempo requerido para terminar una actividad o una unidad de producto se reduce cada vez que se emprenda la actividad.
2. El tiempo por unidad disminuye con un ritmo decreciente.
3. La reducción de tiempo sigue un patrón previsible.

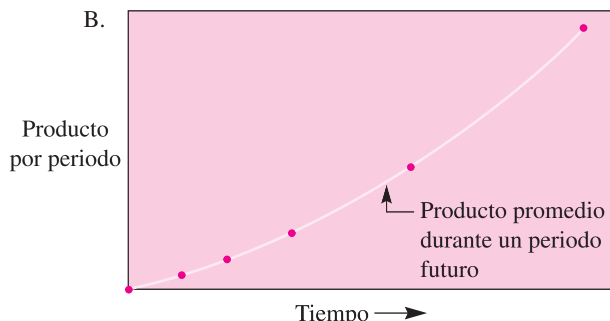
Cada uno de estos puntos demostró su validez en la industria aérea, donde se aplicaron por primera vez las curvas de aprendizaje.[1] En esta aplicación se observó que, a medida que la producción se duplicaba, también se reducían 20% las horas-hombre directas por unidad producida entre unidades que se duplicaban. Así, si el avión 1 requería 100 000 horas, el avión 2 requeriría 80 000, el avión 4 requeriría 64 000 horas, y así sucesivamente. Como la reducción de 20% significaba que, por decir, la unidad 4 solo tardaba 80% del tiempo de producción que requería la unidad 2, la línea que conectaba las coordenadas de la producción y el tiempo se denominó "curva de aprendizaje de 80%". (Por convención, el porcentaje del índice de aprendizaje denota la curva de aprendizaje exponencial.)

Una curva de aprendizaje se puede obtener de una tabulación aritmética, de logaritmos o de otro método para elaborar curvas, según la cantidad y forma de los datos disponibles.

La mejora del desempeño que conllevan las curvas de aprendizaje se concibe de dos maneras: tiempo por unidad (ilustración 4A.1*A*) o unidades de producto por periodo (4A.1*B*). El

ILUSTRACIÓN 4A.1 Curvas de aprendizaje trazadas en forma de tiempos y números de unidades.





[1] Vea el ensayo clásico de T. P. Wright, "Factors Affecting the Cost of Airplanes", *Journal of Aeronautical Sciences*, febrero de 1936, pp. 122-128.

tiempo por unidad muestra la disminución de tiempo que se requiere para cada unidad sucesiva. El *tiempo promedio acumulado* muestra el desempeño promedio acumulado multiplicado por la cantidad total de incrementos de unidades. El tiempo por unidad y los tiempos promedio acumulados también se conocen como *curvas de avance* o *aprendizaje del producto,* y son muy útiles en el caso de productos complejos o que tienen un ciclo de tiempo más largo. Las *unidades de producto por periodo* también se conocen como *aprendizaje industrial,* y se suelen aplicar a la producción de gran volumen (ciclo de tiempo corto).

Vea, en la ilustración 4A.1*A*, que la curva promedio acumulada no disminuye tan rápido como la de tiempo por unidad, porque el tiempo representa un promedio. Por ejemplo, si el tiempo para las unidades 1, 2, 3 y 4 fuera 100, 80, 70 y 64, se trazarían tal cual en la gráfica de tiempo por unidad, pero se trazarían como 100, 90, 83.3 y 78.5 en la gráfica de tiempos promedio acumulados.

Trazo de curvas de aprendizaje

Existen muchas maneras de analizar los datos del pasado para trazar una línea útil de una tendencia. Primero se empleará una curva exponencial simple como procedimiento aritmético y después, mediante un análisis logarítmico, con el enfoque de la tabulación aritmética, se creará una columna para las unidades duplicándolas fila por fila, como 1, 2, 4, 8, 16... El tiempo de la primera unidad se multiplica por el porcentaje de aprendizaje para obtener el tiempo de la segunda unidad; esta se multiplica por el porcentaje de aprendizaje de la cuarta unidad y así sucesivamente. Por tanto, si se elabora una curva de aprendizaje de 80%, se llega a las cifras que presenta la columna 2 de la ilustración 4A.2. Como en la planeación muchas veces es conveniente conocer las horas-hombre directas acumuladas, también se presenta esta información en la columna 4. El cálculo de estas cifras es muy sencillo; por ejemplo, en el caso de la unidad 4, las horas-hombre promedio directas acumuladas se determinan al dividir las horas-hombre-directas acumuladas entre 4, que genera la cifra que presenta la columna 4.

La ilustración 4A.3*A* muestra tres curvas con diferentes índices de aprendizaje: 90, 80 y 70%. Observe que si el costo de la primera unidad fue de 100 dólares, la unidad 30 cuesta 59.63 dólares, con un índice de 90%, y 17.37 dólares, con un índice de 70%. Las diferencias de los índices de aprendizaje tienen efectos drásticos.

En la práctica, las curvas de aprendizaje se trazan mediante una gráfica con escalas logarítmicas. Las curvas de unidades resultan lineales a lo largo de toda su extensión, y las curvas de acumulaciones se convierten en lineales después de las primeras unidades. La propiedad de la linealidad es deseable porque facilita la extrapolación y permite una lectura más exacta de la curva de acumulaciones. Este tipo de escala es una opción en Microsoft Excel; tan solo tiene que generar una gráfica de dispersión regular en su hoja de cálculo, después elegir cada eje y luego formatearlo con la opción de logaritmos. La ilustración 4A.3*B* muestra la curva de costos de unidades con 80% y la curva de costos promedio en una escala logarítmica. Advierta que el costo promedio acumulado es prácticamente lineal después de la octava unidad.

ILUSTRACIÓN 4A.2

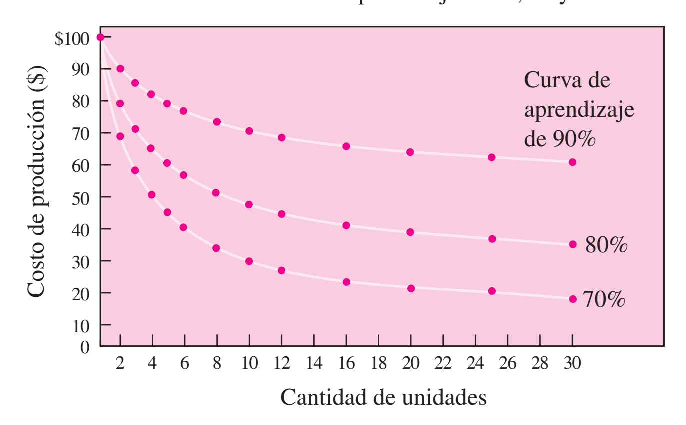
Horas-hombre directas por unidades, acumuladas y acumuladas promedio requeridas para una curva de aprendizaje de 80%.

Excel: Curvas de aprendizaje

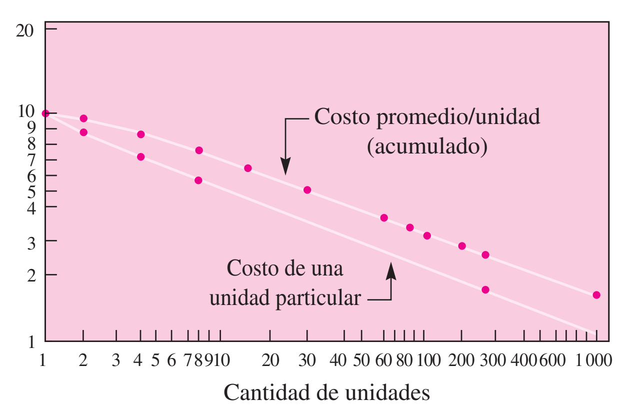
(1) Cantidad de unidades	(2) Horas-hombre directas por unidad	(3) Horas-hombre directas acumuladas	(4) Horas-hombre directas acumuladas promedio
1	100 000	100 000	100 000
2	80 000	180 000	90 000
4	64 000	314 210	78 553
8	51 200	534 591	66 824
16	40 960	892 014	55 751
32	32 768	1 467 862	45 871
64	26 214	2 392 453	37 382
128	20 972	3 874 395	30 269
256	16 777	6 247 318	24 404

ILUSTRACIÓN 4A.3 Trazos de curvas de aprendizaje.

A. Trazo aritmético de curvas de aprendizaje de 70, 80 y 90%



B. Trazo logarítmico de una curva de aprendizaje de 80%



Si bien es útil el enfoque de la tabulación aritmética, el análisis logarítmico directo de los problemas de curvas de aprendizaje suele ser más eficiente porque no requiere una enumeración completa de las combinaciones sucesivas de tiempo-producto. Es más, cuando no se dispone de estos datos, un modelo analítico con logaritmos sería una manera más adecuada de obtener cálculos de los productos.

ANÁLISIS LOGARÍTMICO

La fórmula normal de una ecuación de curva de aprendizaje es[2]

$$Y_x = Kx^n \qquad \textbf{(4A.1)}$$

donde

x = Cantidad de unidades
Y_x = Cantidad de horas-hombre directas requeridas para producir la unidad x
K = Cantidad de horas-hombre directas requeridas para producir la primera unidad
n = log b/log 2, donde b = Porcentaje de aprendizaje

Esto se resuelve matemáticamente o con una tabla, como se muestra en la siguiente sección. En términos matemáticos, para encontrar las horas-hombre que se requerirán para la octava unidad del ejemplo (ilustración 4A.2), se sustituiría así:

$$Y_8 = (100\,000)(8)^n$$

Con logaritmos:

$$Y_8 = 100\,000(8)^{\log 0.8/\log 2}$$

$$= 100\,000(8)^{-0.322} = \frac{100\,000}{(8)^{0.322}}$$

$$= \frac{100\,000}{1.9535} = 51\,192$$

Por tanto, fabricar la octava unidad tardaría 51 192 horas (vea la hoja de cálculo "Curvas de aprendizaje").

Excel: Curvas de aprendizaje

TABLAS DE CURVAS DE APRENDIZAJE

Cuando se conoce el porcentaje de aprendizaje, las ilustraciones 4A.4 y 4A.5 sirven para calcular con facilidad las horas-hombre estimadas para una unidad específica o para grupos acumulados

[2] Esta ecuación sostiene que la cantidad de horas-hombre directas requeridas para una unidad dada cualquiera disminuye exponencialmente a medida que se producen más unidades.

de unidades. Tan solo se debe multiplicar la cifra inicial de horas-hombre por unidad por el valor correspondiente en la tabla.

Para apreciar lo anterior, suponga que se desea verificar de nuevo las cifras de la ilustración 4A.2 por unidad y las horas-hombre acumuladas de la unidad 16. En la ilustración 4A.4 se ve que el factor de mejora de la unidad 16 con 80% es 0.4096. Si se multiplica por 100 000 (las horas de

ILUSTRACIÓN 4A.4
Curvas de mejora: Tabla de valores unitarios.

Excel: Curvas de aprendizaje

	Factor de mejora de unidades							
Unidad	**60%**	**65%**	**70%**	**75%**	**80%**	**85%**	**90%**	**95%**
1	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2	.6000	.6500	.7000	.7500	.8000	.8500	.9000	.9500
3	.4450	.5052	.5682	.6338	.7021	.7729	.8462	.9219
4	.3600	.4225	.4900	.5625	.6400	.7225	.8100	.9025
5	.3054	.3678	.4368	.5127	.5956	.6857	.7830	.8877
6	.2670	.3284	.3977	.4754	.5617	.6570	.7616	.8758
7	.2383	.2984	.3674	.4459	.5345	.6337	.7439	.8659
8	.2160	.2746	.3430	.4219	.5120	.6141	.7290	.8574
9	.1980	.2552	.3228	.4017	.4930	.5974	.7161	.8499
10	.1832	.2391	.3058	.3846	.4765	.5828	.7047	.8433
12	.1602	.2135	.2784	.3565	.4493	.5584	.6854	.8320
14	.1430	.1940	.2572	.3344	.4276	.5386	.6696	.8226
16	.1290	.1785	.2401	.3164	.4096	.5220	.6561	.8145
18	.1188	.1659	.2260	.3013	.3944	.5078	.6445	.8074
20	.1099	.1554	.2141	.2884	.3812	.4954	.6342	.8012
22	.1025	.1465	.2038	.2772	.3697	.4844	.6251	.7955
24	.0961	.1387	.1949	.2674	.3595	.4747	.6169	.7904
25	.0933	.1353	.1908	.2629	.3548	.4701	.6131	.7880
30	.0815	.1208	.1737	.2437	.3346	.4505	.5963	.7775
35	.0728	.1097	.1605	.2286	.3184	.4345	.5825	.7687
40	.0660	.1010	.1498	.2163	.3050	.4211	.5708	.7611
45	.0605	.0939	.1410	.2060	.2936	.4096	.5607	.7545
50	.0560	.0879	.1336	.1972	.2838	.3996	.5518	.7486
60	.0489	.0785	.1216	.1828	.2676	.3829	.5367	.7386
70	.0437	.0713	.1123	.1715	.2547	.3693	.5243	.7302
80	.0396	.0657	.1049	.1622	.2440	.3579	.5137	.7231
90	.0363	.0610	.0987	.1545	.2349	.3482	.5046	.7168
100	.0336	.0572	.0935	.1479	.2271	.3397	.4966	.7112
120	.0294	.0510	.0851	.1371	.2141	.3255	.4830	.7017
140	.0262	.0464	.0786	.1287	.2038	.3139	.4718	.6937
160	.0237	.0427	.0734	.1217	.1952	.3042	.4623	.6869
180	.0218	.0397	.0691	.1159	.1879	.2959	.4541	.6809
200	.0201	.0371	.0655	.1109	.1816	.2887	.4469	.6757
250	.0171	.0323	.0584	.1011	.1691	.2740	.4320	.6646
300	.0149	.0289	.0531	.0937	.1594	.2625	.4202	.6557
350	.0133	.0262	.0491	.0879	.1517	.2532	.4105	.6482
400	.0121	.0241	.0458	.0832	.1453	.2454	.4022	.6419
450	.0111	.0224	.0431	.0792	.1399	.2387	.3951	.6363
500	.0103	.0210	.0408	.0758	.1352	.2329	.3888	.6314
600	.0090	.0188	.0372	.0703	.1275	.2232	.3782	.6229
700	.0080	.0171	.0344	.0659	.1214	.2152	.3694	.6158
800	.0073	.0157	.0321	.0624	.1163	.2086	.3620	.6098
900	.0067	.0146	.0302	.0594	.1119	.2029	.3556	.6045
1 000	.0062	.0137	.0286	.0569	.1082	.1980	.3499	.5998
1 200	.0054	.0122	.0260	.0527	.1020	.1897	.3404	.5918
1 400	.0048	.0111	.0240	.0495	.0971	.1830	.3325	.5850
1 600	.0044	.0102	.0225	.0468	.0930	.1773	.3258	.5793
1 800	.0040	.0095	.0211	.0446	.0895	.1725	.3200	.5743
2 000	.0037	.0089	.0200	.0427	.0866	.1683	.3149	.5698
2 500	.0031	.0077	.0178	.0389	.0806	.1597	.3044	.5605
3 000	.0027	.0069	.0162	.0360	.0760	.1530	.2961	.5530

la unidad 1) se obtiene 40 960, la misma cifra que en la ilustración 4A.2. En la ilustración 4A.5 se ve que el factor de mejora acumulado en el caso de las horas acumuladas para las primeras 16 unidades es 8.920. Cuando se multiplica por 100 000 se obtiene 892 000, cifra que se aproxima razonablemente al valor exacto de 892 014, que presenta la ilustración 4A.2.

ILUSTRACIÓN 4A.5
Curvas de mejora: Tabla de valores acumulados.

	Factor de mejora acumulado							
Unidad	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%
1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2	1.600	1.650	1.700	1.750	1.800	1.850	1.900	1.950
3	2.045	2.155	2.268	2.384	2.502	2.623	2.746	2.872
4	2.405	2.578	2.758	2.946	3.142	3.345	3.556	3.774
5	2.710	2.946	3.195	3.459	3.738	4.031	4.339	4.662
6	2.977	3.274	3.593	3.934	4.299	4.688	5.101	5.538
7	3.216	3.572	3.960	4.380	4.834	5.322	5.845	6.404
8	3.432	3.847	4.303	4.802	5.346	5.936	6.574	7.261
9	3.630	4.102	4.626	5.204	5.839	6.533	7.290	8.111
10	3.813	4.341	4.931	5.589	6.315	7.116	7.994	8.955
12	4.144	4.780	5.501	6.315	7.227	8.244	9.374	10.62
14	4.438	5.177	6.026	6.994	8.092	9.331	10.72	12.27
16	4.704	5.541	6.514	7.635	8.920	10.38	12.04	13.91
18	4.946	5.879	6.972	8.245	9.716	11.41	13.33	15.52
20	5.171	6.195	7.407	8.828	10.48	12.40	14.61	17.13
22	5.379	6.492	7.819	9.388	11.23	13.38	15.86	18.72
24	5.574	6.773	8.213	9.928	11.95	14.33	17.10	20.31
25	5.668	6.909	8.404	10.19	12.31	14.80	17.71	21.10
30	6.097	7.540	9.305	11.45	14.02	17.09	20.73	25.00
35	6.478	8.109	10.13	12.72	15.64	19.29	23.67	28.86
40	6.821	8.631	10.90	13.72	17.19	21.43	26.54	32.68
45	7.134	9. 114	11.62	14.77	18.68	23.50	29.37	36.47
50	7.422	9.565	12.31	15.78	20.12	25.51	32.14	40.22
60	7.941	10.39	13.57	17.67	22.87	29.41	37.57	47.65
70	8.401	11.13	14.74	19.43	25.47	33.17	42.87	54.99
80	8.814	11.82	15.82	21.09	27.96	36.80	48.05	62.25
90	9.191	12.45	16.83	22.67	30.35	40.32	53.14	69.45
100	9.539	13.03	17.79	24.18	32.65	43.75	58.14	76.59
120	10.16	14.11	19.57	27.02	37.05	50.39	67.93	90.71
140	10.72	15.08	21.20	29.67	41.22	56.78	77.46	104.7
160	11.21	15.97	22.72	32.17	45.20	62.95	86.80	118.5
180	11.67	16.79	24.14	34.54	49.03	68.95	95.96	132.1
200	12.09	17.55	25.48	36.80	52.72	74.79	105.0	145.7
250	13.01	19.28	28.56	42.05	61.47	88.83	126.9	179.2
300	13.81	20.81	31.34	46.94	69.66	102.2	148.2	212.2
350	14.51	22.18	33.89	51.48	77.43	115.1	169.0	244.8
400	15.14	23.44	36.26	55.75	84.85	127.6	189.3	277.0
450	15.72	24.60	38.48	59.80	91.97	139.7	209.2	309.0
500	16.26	25.68	40.58	63.68	98.85	151.5	228.8	340.6
600	17.21	27.67	44.47	70.97	112.0	174.2	267.1	403.3
700	18.06	29.45	48.04	77.77	124.4	196.1	304.5	465.3
800	18.82	31.09	51.36	84.18	136.3	217.3	341.0	526.5
900	19.51	32.60	54.46	90.26	147.7	237.9	376.9	587.2
1 000	20.15	31.01	57.40	96.07	158.7	257.9	412.2	647.4
1 200	21.30	36.59	62.85	107.0	179.7	296.6	481.2	766.6
1 400	22.32	38.92	67.85	117.2	199.6	333.9	548.4	884.2
1 600	23.23	41.04	72.49	126.8	218.6	369.9	614.2	1001
1 800	24.06	43.00	76.85	135.9	236.8	404.9	678.8	1116
2 000	24.83	44.84	80.96	144.7	254.4	438.9	742.3	1230
2 500	26.53	48.97	90.39	165.0	296.1	520.8	897.0	1513
3 000	27.99	52.62	98.90	183.7	335.2	598.9	1047	1791

Excel: Curvas de aprendizaje

A continuación se presenta un ejemplo más detallado de la aplicación de una curva de aprendizaje a un problema de producción.

Paso por paso

EJEMPLO 4A.1: Problema muestra de una curva de aprendizaje

El capitán Nemo, dueño de Suboptimum Underwater Boat Company (SUB), está muy intrigado. Tiene un contrato para producir 11 barcos y ya terminó 4. Observó que su gerente de producción, el joven señor Overick, cada vez reasigna a más personas para acelerar el montaje después de la construcción de los cuatro primeros barcos. Por ejemplo, el primer barco requirió 225 trabajadores, cada uno de los cuales laboró una semana de 40 horas, mientras que el segundo barco requirió 45 trabajadores menos. Overick les advirtió que "solo es el principio", y que terminará el último barco del contrato actual con solo 100 trabajadores.

Overick se basa en la curva de aprendizaje, pero, ¿está exagerando?

Solución

Como el segundo barco requirió 180 trabajadores, una curva exponencial simple muestra que el porcentaje de aprendizaje es 80% (180 ÷ 225). Para averiguar cuántos trabajadores se requieren para el barco 11, se busca la unidad 11 con un índice de mejoría de 80% en la ilustración 4A.4 y se multiplica este valor por el número requerido para el primer barco. Por interpolación de la unidad 10 y la unidad 12, se encuentra que el índice de mejora es de 0.4629. Esto produce 104.15 trabajadores (.4269 interpolados de la tabla × 225). Por tanto, el cálculo de Overick se equivoca por cuatro personas. ●

Paso por paso

EJEMPLO 4A.2: Cálculo del costo mediante curvas de aprendizaje

SUB produjo la primera unidad de una línea nueva de minisubmarinos con un costo de 500 000 dólares: 200 000 dólares de materiales y 300 000 dólares de mano de obra. Aceptó una utilidad de 10%, basada en el costo, y está dispuesto a contratar con base en una curva de aprendizaje de 70%. ¿Cuál es el precio del contrato para tres minisubmarinos?

Solución

Costo del primer submarino		$ 500 000
Costo del segundo submarino		
Materiales	$200 000	
Mano de obra: $300 000 × 0.70	210 000	410 000
Costo del tercer submarino		
Materiales	200 000	
Mano de obra: $300 000 × 0.5682	170 460	370 460
Costo total		1 280 460
Aumento: $1 280 460 × 0.10		128 046
Precio de venta		$1 408 506

Si la operación se interrumpe, entonces se debe registrar cierto reaprendizaje. En algunos casos es posible calcular cuánto se retrocederá en la curva de aprendizaje. ●

CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE APRENDIZAJE

Si la producción ya está en marcha desde hace cierto tiempo, el porcentaje de aprendizaje se obtiene con facilidad al consultar los registros de producción. En términos generales, cuanto más extenso sea el historial de la producción, tanto más preciso será el cálculo. Como se pueden presentar diversos problemas más durante las primeras etapas de producción, la mayoría de las empresas empieza a reunir datos para analizar la curva de aprendizaje solo hasta terminar algunas unidades.

Si la producción no ha empezado, el cálculo del porcentaje de aprendizaje es cuestión de adivinar con buen tino. En tal caso, el analista tiene las opciones siguientes:

1. Suponer que el porcentaje de aprendizaje será igual al de aplicaciones anteriores dentro de la misma industria.
2. Suponer que será igual al de productos iguales o similares.

3. Analizar las similitudes y diferencias entre los inicios propuestos y los inicios anteriores, y elaborar un porcentaje revisado del aprendizaje que parezca ajustarse mejor a la situación.

Los lineamientos siguientes son útiles para calcular las repercusiones del aprendizaje en las tareas de la producción de manufactura.[3] Estos lineamientos utilizan estimados del porcentaje de tiempo dedicado al trabajo manual (es decir, armado a mano) frente al dedicado al trabajo controlado por máquinas (es decir, maquinado).

- 75% armado a mano/25% maquinado = 80% de aprendizaje.
- 50% armado a mano/50% maquinado = 85% de aprendizaje.
- 25% armado a mano/75% maquinado = 90% de aprendizaje.

Otro conjunto de lineamientos basados en lo que se encuentra en industrias específicas es:

- Espacio aéreo, 85%.
- Astilleros, 80-85%.
- Máquinas-herramienta complejas para nuevos modelos, 75-85%.
- Manufactura repetitiva de dispositivos electrónicos, 90-95%.
- Operaciones repetitivas de prensa troqueladora, 90-95%.
- Operaciones repetitivas eléctricas (fabricación de tableros de circuitos y cableado), 75-85%.
- Operaciones repetitivas de soldadura, 90%.
- Producción de materias primas, 93-96%.
- Fabricación de piezas compradas, 85-88%.

Dos razones explican las diferencias entre el índice de aprendizaje de una empresa y el índice de su industria. En primer lugar, existen diferencias inevitables en las características de las operaciones de dos empresas cualesquiera derivadas de equipamiento, métodos, diseño del producto, organización de la planta, etc. En segundo, las diferencias de los procedimientos se manifiestan en el desarrollo del porcentaje de aprendizaje mismo, por ejemplo, si el índice de la industria se basa en un solo producto o en una línea de productos, y la manera en que se agregaron los datos.

¿CUÁNTO DURA EL APRENDIZAJE?

¿La producción se estabiliza o existe una mejora continua? Algunas áreas muestran una mejora continua a lo largo de decenios incluso (radios, computadoras y otros aparatos electrónicos, y, si se atienden los efectos de la inflación, también automóviles, lavadoras, refrigeradores y casi todo bien manufacturado). Si la curva de aprendizaje ha sido válida para varios cientos o miles de unidades, tal vez lo sea para varios cientos o miles más. Por otro lado, los sistemas muy automatizados pueden tener una curva de aprendizaje prácticamente nula porque, después de su instalación, no tardan casi nada en alcanzar un volumen constante.

Lineamientos generales para aprender

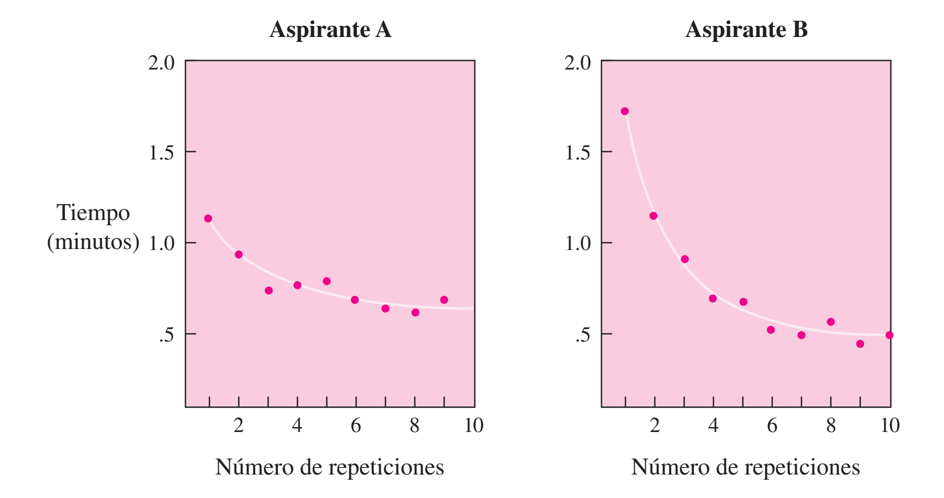
En esta sección se ofrecen lineamientos para dos categorías de "aprendices": individuos y organizaciones.

APRENDIZAJE INDIVIDUAL

Una serie de factores afecta el desempeño de un individuo y su índice de aprendizaje. Recuerde que participan dos elementos: índice de aprendizaje y nivel inicial. Para aclarar, compare las dos curvas de aprendizaje de la ilustración 4A.6. Suponga que se trata de los tiempos de dos individuos que se sometieron a una prueba mecánica sencilla administrada por el departamento de personal como parte de su solicitud de empleo en el área de producción dedicada al ensamble.

[3] Rodney D. Stewart, Richard M. Wyskida y James D. Johannes (eds.), *Cost Estimator's Reference Manual*, 2a. ed., Nueva York, John Wiley & Sons, 1995.

ILUSTRACIÓN 4A.6
Resultados de dos personas que solicitan empleo.



¿A cuál solicitante contrataría? El solicitante A tuvo un punto de partida mucho más bajo pero un índice de aprendizaje mucho más lento. El solicitante B, si bien empezó en un punto mucho más alto es, a todas luces, la mejor opción. Esto indica que los tiempos del desempeño son importantes y no solo el índice de aprendizaje en sí.

Algunos lineamientos generales para mejorar el desempeño individual con base en las curvas de aprendizaje son:

1. **Selección adecuada de trabajadores.** Se debe seleccionar a los trabajadores mediante una prueba. Estas pruebas deben ser representativas del trabajo planeado; es decir, de pericia para los trabajos de ensamble, de capacidad mental para el trabajo mental, de interacción con los clientes para el trabajo en mostrador, etcétera.
2. **Capacitación adecuada.** Cuanto más efectiva sea la capacitación, tanto más rápido será el ritmo de aprendizaje.
3. **Motivación.** No habrá aumentos de productividad basados en curvas de aprendizaje a no ser que existan incentivos; pueden ser monetarios (planes para individuos o grupos) o extra monetarios (premios al empleado del mes, etcétera).
4. **Especialización laboral.** Una regla general es que cuanto más sencilla sea la tarea, tanto más rápido será el aprendizaje. Tenga cuidado de que no interfiera el aburrimiento y, en caso de que se presente, rediseñe la actividad.
5. **Desempeñe un solo trabajo o unos cuantos cada vez.** El aprendizaje de cada trabajo es más rápido si se realiza de uno en uno, en lugar de trabajar en todos los trabajos al mismo tiempo.
6. **Utilice herramientas o equipamiento que facilite o apoye el desempeño.**
7. **Ofrezca un acceso fácil y expedito a la ayuda.** Los beneficios de la capacitación se realizan y alcanzan cuando hay ayuda disponible.
8. **Permita que los trabajadores participen en el rediseño de sus labores.** Cuando se incluyen más factores del desempeño en la importancia de la curva de aprendizaje, en realidad puede desviar la curva hacia abajo.

APRENDIZAJE ORGANIZACIONAL

Las organizaciones también aprenden. Se afirma que el aprendizaje organizacional es crítico para mantener una ventaja competitiva. En el caso de un individuo es fácil concebir cómo se adquiere y retiene el conocimiento, y cómo genera un efecto que produce el aprendizaje individual. Por supuesto, una fuente central del aprendizaje organizacional es el aprendizaje individual de sus empleados. Una organización también adquiere conocimiento por su tecnología, su estructura, los documentos que conserva y los procedimientos normales de sus operaciones.[4] Por ejemplo,

[4] Vea L. Argote, "Organizational Learning Curves: Persistence, Transfer and Turnover", *International Journal of Technology Management* 11, núms. 7/8, 1996, pp. 759-769.

a medida que una unidad de producción adquiere experiencia, el software y la maquinaria para la producción absorben conocimiento. La estructura de la organización también absorbe conocimiento. Por ejemplo, cuando una organización decide que su grupo de ingeniería industrial cambie de una organización funcional centralizada en un terreno a una organización descentralizada en la cual se envía a las personas a sectores específicos del taller de la planta, la estructura de la organización absorbe conocimiento respecto de la forma de mejorar su productividad.

El conocimiento se deprecia cuando los individuos abandonan la organización. Cuando Lockheed tuvo problemas con la producción del avión L-1011, se atribuyeron a que la contratación de 2 000 empleados inexpertos para echar a andar la producción con rapidez. Estos empleados tomaron parte en un programa de capacitación para la construcción de aviones que duró cuatro semanas. Los costos iniciales de la producción inicial del avión subieron, en lugar de bajar, debido a la inexperiencia de los trabajadores.

El conocimiento también se deprecia si las tecnologías son difíciles o inaccesibles. Un ejemplo es la dificultad para acceder a los datos reunidos por Landsat, programa de vigilancia de la Tierra. Ahora, 90% de los datos reunidos antes de 1979 es inaccesible porque se registraron con equipamiento que ya no existe o que no se puede operar. El conocimiento también se deprecia si se pierden los registros y procesos de la empresa. Cuando Steinway Piano Company decidió producir de nuevo un piano discontinuado, la planta descubrió que ya no existían registros ni planos de ese modelo.

Curvas de aprendizaje aplicadas a la mortalidad en trasplantes de corazón

Las curvas de aprendizaje son una forma excelente de estudiar el desempeño. La mejor comparación del desempeño es la de los índices de aprendizaje de los competidores en la industria. A pesar de desconocer un nivel estándar o esperado, es posible aprender mucho con solo procesar y graficar los datos en forma de curva de aprendizaje. Como ilustración de esta capacidad para determinar un desempeño en particular, se presenta la experiencia de quirófano de trasplante de corazones de un hospital.[5]

Servicio

El modelo de la curva de aprendizaje del análisis de los trasplantes de corazón tenía la fórmula

$$Y_i = B_0 + B_1 x^{-B_2}$$

donde Y_i es el consumo promedio acumulado de recursos (cantidad total de muertes, costos, etc., dividida entre la cantidad de trasplantes), B_0 es la asíntota (el mínimo), B_1 es la reducción máxima posible (la diferencia entre la primera unidad y la B_0 mínima), x es el número total de unidades producidas y B_2 es el índice de cambio de cada unidad sucesiva que se dirige hacia el límite inferior.

La ilustración 4A.7 muestra los coeficientes obtenidos para el modelo. La ilustración 4A.7*B* muestra el índice de mortalidad acumulado. Al parecer, sigue una curva de aprendizaje industrial con un índice un poco superior a 80%. Siete de los primeros 23 pacientes de los trasplantes murieron antes de un año después de la cirugía. Solo cuatro de los siguientes 39 pacientes murieron en el plazo de un año. En el caso de la internación promedio acumulada, que presenta la ilustración 4A.7*C*, el índice de reducción es del orden de 9 por ciento.

La curva que tiene menos pendiente (el índice de aprendizaje más bajo) es el costo de los trasplantes de corazón. La ilustración 4A.7*D* muestra que los costos iniciales rondaron los 150 000 dólares. Después de que 51 pacientes sobrevivieron (62 operaciones, 11 muertes), el costo promedio seguía en el orden de 100 000 dólares. (Un índice de aprendizaje de 80% produciría un costo promedio de 40 000 dólares; un índice de 90%, un costo de 80 000 dólares.)

¿Por qué son elevados los índices de aprendizaje cuando se trata de la reducción del índice de mortalidad y bajos en la internación pro-

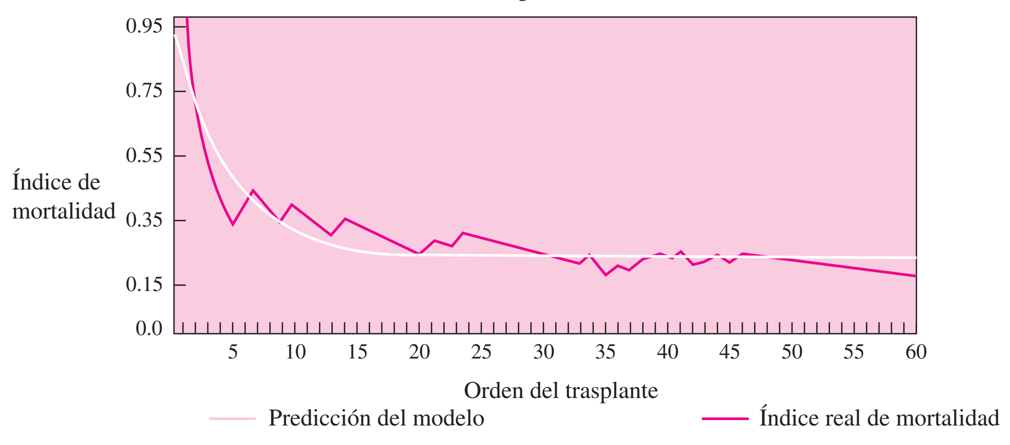
[5] D. B. Smith y J. L. Larsson, "The Impact of Learning on Cost: The Case of Heart Transplantation", *Hospital and Health Sciences Administration* 34, núm. 1, primavera de 1989, pp. 85-97.

ILUSTRACIÓN 4A.7

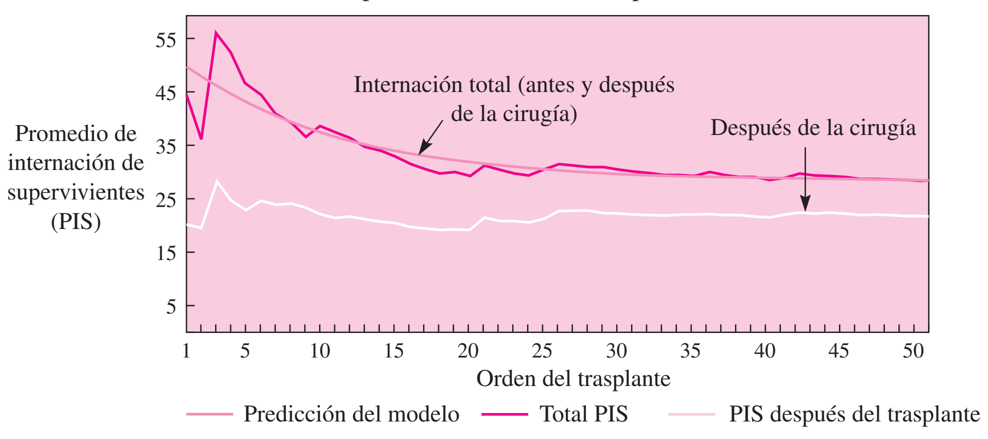
A. Coeficientes de consumo del modelo de aprendizaje de trasplantes de corazón.

	B_0 (Asíntota)	B_1 (Rango)	B_2 (Índice)	Porcentaje de decremento
Índice de mortalidad	.2329	.8815	.2362	21.04%
Duración de internación	28.26	23.76	.0943	9.00
Unidades de servicio	1 282.84	592.311	.0763	7.35
Cargos ajustados	$96 465.90	$53 015.80	.0667	6.45

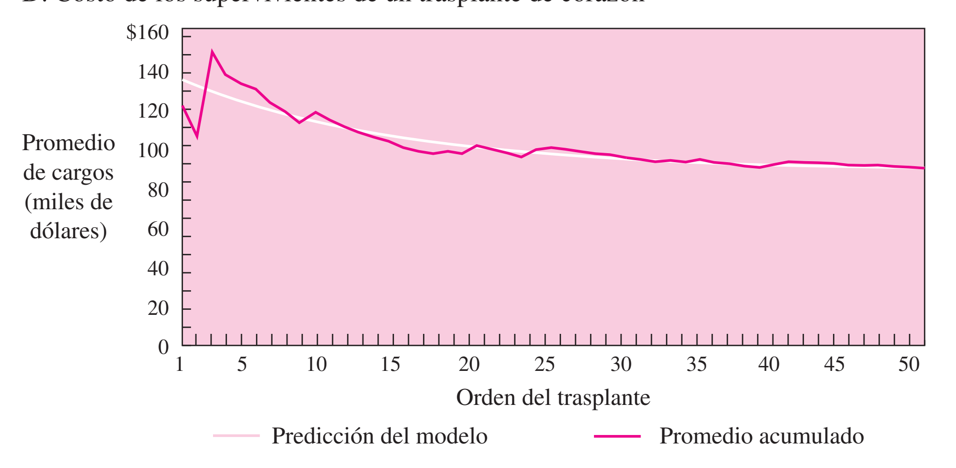
B. Índice de mortalidad, menos de un año de supervivencia



C. Promedio de internación de supervivientes (PIS) de trasplante de corazón



D. Costo de los supervivientes de un trasplante de corazón



Nota: Solo por admisión para el trasplante, los costos reales representan alrededor de 50% de los cargos.

medio, con el índice más bajo en la reducción de costos? Smith y Larsson se preguntan si los índices bajos de aprendizaje guardan relación con el conservadurismo cuando se trata del manejo de vidas humanas o si se deben al poder y aislamiento del equipo del trasplante de corazones de la presión por reducir los costos. El propósito de este estudio sobre las curvas de aprendizaje fue despertar la conciencia de las instituciones y los administradores respecto del aprendizaje. Las instituciones se deben comportar de acuerdo con la lógica de las curvas de aprendizaje; es decir, en el establecimiento de precios y también en la motivación de mejora continua.

Conceptos clave

Curva de aprendizaje Línea que muestra la relación entre el tiempo de producción por unidad y el número acumulado de unidades producidas.

Aprendizaje individual Mejora que se obtiene de que las personas repitan un proceso y adquieran habilidad o eficiencia en razón de su propia experiencia.

Aprendizaje organizacional Mejora que se deriva de la experiencia y de los cambios en la administración, equipamiento y diseño del producto.

Revisión de fórmula

Curva logarítmica:

$$Y_x = Kx^n \qquad \textbf{(4A.1)}$$

Problemas resueltos

Problema resuelto 1

Una persona se somete a algunas pruebas porque solicitó un puesto en la línea de ensamble. La gerencia piensa que se llega a un estado estable después de desempeñar una actividad más o menos 1 000 veces. Se espera que los trabajadores regulares de la línea de ensamble desempeñen la labor en un plazo de cuatro minutos.

a) Si el solicitante al puesto desempeñara la primera operación de la prueba en 10 minutos y la segunda en 9 minutos, ¿se le debe contratar?
b) ¿Cuál es el tiempo esperado del solicitante para terminar la unidad 10?
c) ¿Cuál es una limitación significativa de este análisis?

Solución

a) Índice de aprendizaje = 9 minutos/10 minutos = 90%.
A partir de la ilustración 4A.4, el tiempo para la unidad 1 000 es de 0.3499 × 10 minutos = 3.499 minutos. Sí, se debe contratar a esa persona.
b) A partir de la ilustración 4A.4, la unidad 10 con 90% es de 0.7047. Por tanto, el tiempo para la unidad 10 = 0.7047 × 10 = 7.047 minutos.
c) Se deben reunir más datos sobre el desempeño de la persona que solicita el empleo.

Problema resuelto 2

Boeing Aircraft reunió los datos siguientes sobre los costos de las primeras 8 unidades de su nuevo avión comercial.

Excel: Curvas de aprendizaje

Cantidad de unidades	Costo (millones de $)	Cantidad de unidades	Costo (millones de $)
1	100	5	60
2	83	6	57
3	73	7	53
4	62	8	51

a) Calcule la curva de aprendizaje del nuevo avión comercial.
b) Calcule el costo promedio de las primeras 1 000 unidades del avión.
c) Calcule el costo de producir el milésimo avión.

Solución

a) Primero estime la curva de aprendizaje con el cálculo del índice promedio de aprendizaje cada vez que se duplica la producción:

Unidades 1 a 2 = 83/100 = 83%
Unidades 2 a 4 = 62/83 = 74.7%
Unidades 4 a 8 = 51/62 = 82.26%
Promedio = (83 + 74.4 + 82.6)/3 = 80%

b) El costo promedio de las primeras 1 000 unidades se calcula con la ilustración 4A.5. El factor de las mejoras acumuladas de la unidad 1 000 con 80% de aprendizaje es 158.7. El costo de producir las primeras 1 000 unidades es

$100M × 158.7 = $15 870M

El costo promedio de cada una de las primeras 1 000 unidades es

$15 870M/1 000 = $15.9M

c) Para calcular el costo de producir la milésima unidad, utilice la ilustración 4A.4.
El factor de mejora de unidades para la milésima unidad con 80% es 0.1082.
El costo de producir la unidad número 1 000 es

$100M × 0.1082 = $10.82M

Preguntas de repaso y análisis

1. Si guardó las calificaciones de sus exámenes del semestre pasado, desempólvelas y anótelas. Con las ilustraciones 4A.4 y 4A.5, papel para gráficas log-log o una hoja de cálculo determine si se ajustan a una curva exponencial, lo que mostraría que usted experimentó aprendizaje durante el semestre (en lo que se refiere a su desempeño en los exámenes). De lo contrario, ¿puede proporcionar algunas razones que expliquen por qué no lo hizo?
2. ¿Cómo usarían las curvas de aprendizaje los siguientes especialistas de negocios: contadores, mercadólogos, analistas financieros, administradores de personal y programadores de computadoras?
3. Como gerente, ¿qué porcentaje de aprendizaje preferiría (en igualdad de condiciones), 110 o 60%? Explique.
4. ¿Qué diferencia hay si un cliente quiere que se produzca y entregue de una vez un pedido de 10 000 unidades, o si quiere lotes de 2 500 unidades?

Problemas

1. Se estableció una norma de tiempo en 0.20 horas por unidad con base en la unidad 50 producida. Si la labor tiene una curva de aprendizaje de 90%, ¿cuál es el tiempo esperado para la unidad 100, la 200 y la 400?
2. Acaba de recibir 10 unidades de un subensamblado especial de un fabricante de dispositivos electrónicos a un precio de 250 dólares por unidad. Su empresa acaba de recibir un pedido de su producto, el cual utiliza estas piezas, y desea comprar 40 más para enviarse en lotes de 10 unidades cada uno. (Las piezas son voluminosas y solo necesita 10 al mes parar surtir el pedido que recibió.)
   a) Si el año pasado su proveedor registró una curva de aprendizaje de 70% con un producto similar, ¿cuánto debe pagar usted por cada lote? Suponga que el índice de aprendizaje de 70% es aplicable a cada lote de 10 unidades y no a cada unidad.
   b) Suponga que usted es el proveedor y produce 20 unidades ahora, pero puede iniciar la producción de las segundas 20 unidades solo hasta dentro de dos meses. ¿Qué precio trataría de negociar por las últimas 20 unidades?
3. Johnson Industries obtuvo un contrato para desarrollar y producir cuatro transmisores/receptores de larga distancia de alta densidad para teléfonos celulares. El primero requirió 2 000 horas-hombre y 39 000 dólares por concepto de piezas compradas y manufacturadas; el segundo, 1 500 horas-hombre y 37 050 dólares por concepto de piezas; el tercero, 1 450 horas-hombre y 31 000 dólares por concepto de piezas; y el cuarto, 1 275 horas-hombre y 31 492 dólares por concepto de piezas.

Pidieron a Johnson que cotice un nuevo contrato para otra docena de unidades de transmisores/receptores. Sin los efectos del factor del olvido, ¿cuánto tiempo y costos de piezas debe estimar Johnson

para esta docena de unidades? (Pista: Hay dos curvas de aprendizaje, una para la mano de obra y otra para las piezas.)

4. Lambda Computer Products compitió y ganó un contrato para producir dos unidades prototipo de una nueva computadora basada en óptica láser en lugar de bits electrónicos binarios.

La primera unidad que produjo Lambda necesitó 5 000 horas y 250 000 dólares por concepto de material, uso de equipamiento y abastos; la segunda unidad, 3 500 horas y 200 000 dólares por concepto de materiales, uso de equipamiento y abastos. Paga la mano de obra a 30 dólares por hora.

a) Se pidió a Lambda una cotización para 10 unidades adicionales en cuanto terminara la segunda unidad. La producción iniciaría de inmediato. ¿Cuál sería el monto de esta cotización?

b) Suponga que hay un retraso considerable entre los dos contratos. Durante ese tiempo, la empresa reasignó al personal y el equipo a otros proyectos. Explique por qué esto afectaría la consecuente cotización.

5. Usted acaba de terminar una corrida piloto de 10 unidades de un producto grande y observó que el tiempo de procesamiento de cada unidad fue:

Cantidad de unidades	Tiempo (horas)
1	970
2	640
3	420
4	380
5	320
6	250
7	220
8	207
9	190
10	190

a) Según la corrida piloto, ¿cuál calcula que fue el índice de aprendizaje?

b) Con base en el inciso *a*), ¿cuánto tiempo tardarían las siguientes 190 unidades si se supone que no se pierde aprendizaje alguno?

c) ¿Cuánto tardaría producir la milésima unidad?

6. Lazer Technologies Inc. (LTI) produjo un total de 20 sistemas láser de alta potencia para destruir en el aire proyectiles o aviones enemigos. La producción de las 20 unidades se financió en parte como investigación privada dentro de la división de investigación y desarrollo de LTI, pero el grueso de los fondos provino de un contrato con el Departamento de Defensa de Estados Unidos (DoD).

Las pruebas de las unidades láser demostraron que son armas defensivas muy eficaces y, con su rediseño para mejorar su portabilidad y facilitar su mantenimiento en el campo, las unidades se pueden montar sobre camiones.

El DoD pidió a LTI una cotización de 100 unidades.

Las 20 unidades que ya fabricó LTI costaron los montos que se presentan a continuación, por orden de producción:

Número de unidades	Costo (millones de $)	Número de unidades	Costo (millones de $)
1	12	11	3.9
2	10	12	3.5
3	6	13	3.0
4	6.5	14	2.8
5	5.8	15	2.7
6	6	16	2.7
7	5	17	2.3
8	3.6	18	3.0
9	3.6	19	2.9
10	4.1	20	2.6

a) Con base en la experiencia, ¿cuál es el índice de aprendizaje?

b) ¿Cuál debe ser la cotización de LTI por el pedido total de 100 unidades, si se supone que el aprendizaje continúa?

c) ¿Cuál es el costo esperado de la última unidad conforme al índice de aprendizaje que usted calculó?

7. Jack Simpson, negociador de contratos en nombre de Nebula Airframe Company, trabaja en una cotización para un segundo contrato con el gobierno. Al reunir datos de los costos de las primeras tres unidades, que Nebula produjo por un contrato de investigación y desarrollo, observó que la primera unidad requirió 2 000 horas-hombre, la segunda, 1 800 horas-hombre, y la tercera, 1 692 horas.

Para un contrato por tres unidades más, ¿cuántas horas-hombre debe incluir el plan de Simpson?

8. Honda Motor Company detectó un problema en el sistema de escape de una de sus líneas de automóviles y voluntariamente aceptó hacer las modificaciones necesarias para ajustarse a los requisitos de seguridad del gobierno. El procedimiento estándar es que la empresa pague una cantidad única a los distribuidores por cada modificación realizada.

Honda intenta establecer un monto justo para la compensación que pagará a los distribuidores, por lo que decidió elegir un número de mecánicos al azar y observar su desempeño y su índice de aprendizaje. El análisis arrojó que el índice promedio de aprendizaje era de 90% y, a continuación, Honda decidió pagar la cantidad de 60 dólares por reparación (3 horas × 20 dólares por hora del pago único).

Southwest Honda, Inc., se quejó con Honda Motor Company por esta tarifa. Seis mecánicos, en forma independiente, terminaron dos modificaciones cada uno. Todos tardaron un promedio de 9 horas en la primera unidad y 6.3 horas en la segunda. Southwest se niega a hacer más modificaciones a no ser que Honda considere un mínimo de 4.5 horas. La distribuidora espera modificar unos 300 vehículos.

¿Qué opina usted del índice considerado por Honda y del desempeño de los mecánicos?

9. United Research Associates (URA) consiguió un contrato para producir dos unidades de un nuevo control para guiar misiles dirigidos. La fabricación de la primera unidad tardó 4 000 horas y costó 30 000 dólares por concepto de materiales y uso de equipamiento; la segunda, 3 200 horas y 21 000 dólares por concepto de materiales y uso de equipamiento. La mano de obra se paga a 18 dólares por hora.

El primer contratista se dirigió a URA y le pidió una cotización para saber cuánto costaría producir otros 20 controles guía.

a) ¿Cuál será el costo de producción de la última unidad?
b) ¿Cuál será el tiempo promedio de los 20 controles guía de misiles?
c) ¿Cuál será el costo promedio de los 20 controles guía incluidos en el contrato?

10. United Assembly Products (UAP) tiene un proceso de selección de personal que aplica a los solicitantes de empleo a efecto de conocer su capacidad para desempeñarse al índice promedio de largo plazo del departamento. UAP le solicitó modificar la prueba para incorporar la teoría del aprendizaje. Con base en los datos de la empresa, usted observó que si las personas desempeñan una labor dada en 30 minutos o menos en la unidad 20, alcanzarán el promedio del grupo de largo plazo. Desde luego, no es posible someter a todos los solicitantes a desempeñar esta labor 20 veces, por lo que usted debe determinar si es probable que alcancen el índice deseado o no con solo dos veces.

a) Suponga que una persona tardó 100 minutos en la primera unidad y 80 minutos en la segunda. ¿Se le debe contratar?
b) ¿Qué procedimiento establecería usted para la contratación (es decir, cómo evaluaría las dos veces que el solicitante desempeña la actividad)?
c) ¿Cuál es una limitación significativa de este análisis?

11. Un cliente que puede ser muy importante ofrece subcontratarle un trabajo de ensamble que solo será rentable si usted desempeña las operaciones en un tiempo promedio de menos de 20 horas cada una. El contrato es por 1 000 unidades.

Usted hace una prueba y produce la primera en 50 horas y la segunda en 40 horas.

a) ¿Cuánto tiempo esperaría que tarde la tercera?
b) ¿Aceptaría el contrato? Explique.

12. Western Turbine, Inc., acaba de terminar la producción de la unidad 10 de una nueva turbina/generador de alta eficiencia. Su análisis arrojó que el índice de aprendizaje de 10 unidades era de 85%. Si la unidad 10 representaba 2.5 millones de dólares de costos de mano de obra, ¿qué precio debe cobrar Western Turbine por la labor de las unidades 11 y 12 para obtener una utilidad de 10% del precio de venta?

13. FES Auto acaba de contratar a la mecánica Meg para que se especialice en alineaciones delanteras. Aunque ella tiene estudios de mecánica, nunca ha utilizado el equipo marca FES antes de este empleo. El tiempo estándar asignado a una alineación delantera es de 30 minutos. Ella tardó 50 minutos en su primera alineación delantera y 47.5 minutos en la segunda.

a) ¿Cuál es el tiempo esperado de la décima alineación delantera de Meg?
b) ¿Cuál es el tiempo esperado de la alineación delantera número 100 de Meg?

14. Una corrida piloto inicial de 10 unidades arroja los tiempos siguientes:

Cantidad de unidades	Tiempo (minutos)
1	39
2	29
3	23
4	17
5	19
6	16
7	15
8	13
9	13
10	12

a) Con base en la corrida piloto, ¿cuál calcula usted que es el índice de aprendizaje?
b) ¿Cuánto tiempo tardarán las siguientes 90 unidades?
c) ¿Cuánto tiempo tardará producir la unidad 2 000?

15. Un nuevo empleado bancario tardó una hora en codificar sus primeros 500 cheques, 51 minutos los segundos 500 y 46 minutos los terceros 500. ¿En cuántos grupos de 500 cheques logrará trabajar a un ritmo estándar de 1 000 cheques por hora?

16. Un aprendiz en un restaurante de comida rápida tarda una hora en preparar sus primeros 20 emparedados, 45 minutos en los segundos 20 y 38 minutos en los terceros 20. ¿Cuál será su índice de producción después de 24 horas de experiencia?

17. Capital City Flowers recibió un pedido de 20 ramilletes. Armar el primero requirió 15 minutos. En el pasado se observó un índice de aprendizaje de 85% en la preparación de ramilletes similares. ¿Cuál es el tiempo total, en minutos, de armar los 20 ramilletes? ¿Cuál es el tiempo total, en minutos, de armar los últimos 10 ramilletes?

18. U.S. Subs, fabricante del nuevo submarino privado Phoenix 1 000, produce 25 minisubmarinos amarillos para una nueva película. Quiere saber cuánto tardará la construcción de los últimos 15 submarinos amarillos. La empresa tiene la firme convicción de que el tiempo para construir un submarino sigue el modelo de la curva de aprendizaje, pero solo tiene la información siguiente:

Tiempo para construir el segundo submarino = 63 horas
Tiempo para construir el tercer submarino = 53.26 horas
Tiempo para construir el cuarto submarino = 47.25 horas

Cuestionario

1. Línea que muestra la relación entre el tiempo de producción de una unidad y la cantidad acumulada de unidades producidas.
2. Mejora personal proveniente de la repetición de un proceso y obtener así habilidades o eficiencia.
3. Mejora proveniente de los cambios en la administración, equipo y diseño de producto.
4. A partir de un índice de aprendizaje de 80%, si la producción de la cuarta unidad tarda 100 horas, ¿cuánto debe tardar la producción de la unidad 16?
5. Gráfica resultante de una curva de aprendizaje en la cual se emplearon escalas logarítmicas.
6. Los sistemas con esta característica por lo general tienen un aprendizaje cercano a cero.

1. Curva de aprendizaje 2. Aprendizaje individual 3. Aprendizaje organizacional 4. 64 horas 5. Línea recta 6. Sistemas muy automatizados

Bibliografía seleccionada

Argote, L., "Organizational Learning Curves, Persistence, Transfer and Turnover", *International Journal of Technology Management* 11, núms. 7/8, 1996, pp. 759-769.

Argote, L. y D. Epple, "Learning Curves in Manufacturing", *Science* 247, febrero de 1990, pp. 920-924.

Bailey, C. D., "Forgetting and the Learning Curve: A Laboratory Study", *Management Science* 35, núm. 3, marzo de 1989, pp. 340-352.

Chambers, S. y R. Johnson, "Experience Curves in Services: Macro and Micro Level Approaches", *International Journal of Operations & Production Management* 20, núm. 4, 2000, pp. 852-859.

Smunt, T. L., "A Comparison of Learning Curve Analysis and Moving Average Ratio Analysis for Detailed Operational Planning", *Decision Sciences* 17, núm. 4, otoño de 1986, pp. 475-495.

Wright, T. P., "Factors Affecting the Cost of Airplanes", *Journal of Aeronautical Sciences*, febrero de 1936, pp. 122-128.

Yelle, L. E., "The Learning Curves: Historical Review and Comprehensive Survey", *Decision Sciences* 10, núm. 2, abril de 1979, pp. 302-328.

Capítulo 5

ANÁLISIS DE PROCESOS

Servicios manejados por el cliente en McDonald's

QUIOSCOS PARA ORDENAR UNO MISMO

Servicio

IDEO colaboró con McDonald's en la primera generación de un nuevo sistema de servicios en el restaurante Lone Tree, al sur de Denver. El nuevo sistema permite que los propios clientes de McDonald's hagan sus órdenes, lo cual ofrece mayor flexibilidad, velocidad, exactitud y comodidad, tanto para los clientes de McDonald's como para sus empleados. El sistema consiste en quioscos ubicados en el mostrador central y en la zona de juegos infantiles, con pantallas sensibles al tacto para marcar las órdenes, e integrados plenamente al entorno físico, flujo de operaciones y mensaje de la marca McDonald's.

Después de leer este capítulo, usted:

1. Reconocerá tres tipos básicos de procesos: de movimiento en serie, procesos paralelos (como en los restaurantes) y logísticos.
2. Entenderá la elaboración de diagramas de flujo de procesos.
3. Explicará el análisis de procesos con la ley de Little.
4. Entenderá cómo calcular medidas de desempeño de procesos.

Los clientes hacen sus órdenes mediante un sistema de íconos y pagan en el quiosco o en el mostrador donde recogen su orden. Cuando terminan de ordenar, los clientes recogen sus alimentos en el mostrador tras exhibir el número de la orden impreso en el recibo. En la zona de juegos, los padres también pueden ordenar y pagar sin dejar de vigilar a sus hijos. A continuación, un empleado de McDonald's les lleva la comida a su mesa.

Este nuevo modelo tenía que funcionar dentro del popular y eficiente sistema actual. El diseño terminado abarcó la experiencia completa de ordenar, no solo los quioscos mismos. El equipo actualizó gráficos, letreros, mostradores y uniformes de los empleados, y creó nueve quioscos para ordenar, con un sistema de íconos que incluía el menú entero. Todos los elementos del diseño y la distribución interna del establecimiento para la nueva experiencia del servicio se concibieron de modo que complementaran la experiencia tradicional de ordenar en el mostrador.

El trabajo empezó con una encuesta nacional de todo tipo de experiencias con el servicio rápido y el autoservicio, y de ahí destiló los patrones conductuales de los clientes de McDonald's que sirvieron de guía para trabajar en el diseño. Después de miles de transacciones tras su lanzamiento, el nuevo servicio registró un elevado índice de aceptación entre los clientes y las filas prácticamente desaparecieron.

Análisis de procesos

Es esencial comprender cómo funcionan los procesos para garantizar la competitividad de una empresa. Un proceso que no embone con las necesidades de la empresa la perjudicará cada minuto que opere. Como ejemplo, dos restaurantes de comida rápida. Si un restaurante entrega al cliente una hamburguesa de 250 gramos con un costo directo de 50 centavos de dólar y el costo de otro restaurante es de 75 centavos, haga lo que haga el segundo, perderá 25 centavos de utilidad en cada hamburguesa que sirva en comparación con el primero. Al montar el proceso para producir estas hamburguesas es preciso considerar muchos factores, como costo de materias primas, costos asociados con la preparación de la hamburguesa y costo de tomar la orden y entregarla al cliente.

Proceso

¿Qué es un proceso? Un **proceso** se refiere a la parte de una empresa que toma insumos y los transforma en productos que, según espera, tendrán un valor más alto para ella que los insumos originales. Piense en algunos ejemplos de procesos. Honda Motors produce el Accord en una planta armadora en Marysville, Ohio. La armadora toma partes y componentes que se fabricaron en otro lugar para ella. Con mano de obra, equipo de línea de montaje y energía transforma estas partes y componentes en automóviles. McDonald's, en cada restaurante, usa insumos como carne molida, lechuga, tomates y papas. Los empleados, que cocinan y toman pedidos, se suman a estos insumos y con equipo de capital transforman los insumos en hamburguesas, papas fritas y otros platillos.

Servicio

En ambos ejemplos, el resultado del proceso son productos. No obstante, el resultado de muchos procesos son servicios. Por ejemplo, en un hospital, el equipamiento especializado, médicos, enfermeras y técnicos muy preparados se combinan con otro insumo: el paciente. Este se transforma en una persona sana gracias a una atención y tratamiento adecuados. Una línea aérea es otro ejemplo de una organización de servicios. La línea aérea utiliza aviones, equipamiento en tierra, tripulaciones de vuelo, cuadrillas en tierra, personal de reservaciones y combustible para transportar a los clientes a todo el mundo.

Este capítulo explica cómo analizar un proceso. El análisis del proceso permite contestar algunas preguntas importantes, como: ¿cuántos clientes pueden manejar el proceso por hora?, ¿cuánto tiempo tarda atender a un cliente?, ¿qué cambio necesita el proceso para expandir la capacidad?, ¿cuánto cuesta el proceso? El primer paso del análisis del proceso es difícil e importante, y consiste en definir con claridad el propósito del análisis: ¿el propósito es resolver un problema?, ¿o comprender mejor las repercusiones de un cambio en la manera de hacer negocios en el futuro?

Sin duda, es fundamental comprender con claridad el propósito del análisis para definir el grado de detalle del modelo del proceso durante su preparación. El análisis debe ser tan sencillo como sea posible. En las secciones siguientes de este capítulo se explican los detalles para elaborar diagramas de flujo y las mediciones adecuadas para diferentes tipos de procesos. Sin embargo, primero se verá un ejemplo sencillo.

Análisis de una máquina tragamonedas de Las Vegas

Los casinos de todo el mundo tienen máquinas tragamonedas. Con una de ellas se ilustrará el análisis de un proceso simple.

Suponga que trabaja en un casino y la gerencia considera un nuevo tipo de máquina tragamonedas electrónica mucho más rápida que la mecánica que tiene actualmente. La gerencia se pregunta cuánto ganaría con la nueva máquina electrónica en un periodo de 24 horas, en comparación con la antigua máquina mecánica.

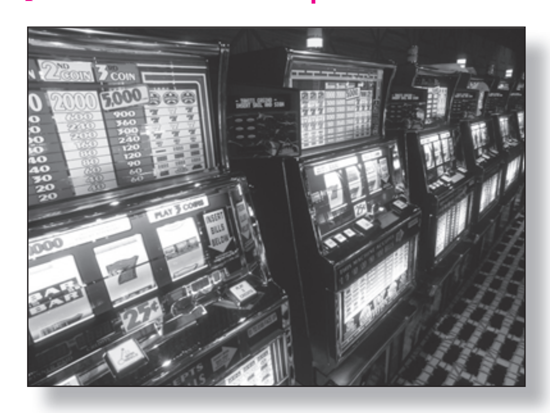
Servicio

Paso 1. Análisis de la máquina tragamonedas mecánica Empiece por analizar una máquina tragamonedas mecánica. Esta se activa cuando el cliente le introduce una o varias monedas y a continuación jala la palanca de brazo (con frecuencia a las máquinas tragamonedas se les llama "asaltantes mancos"). Empiezan a girar tres bandas y, pasado un tiempo, cada una se detiene y exhibe un símbolo determinado. La máquina paga dinero cuando algunos símbolos se presentan en forma simultánea en ciertas combinaciones. Para quienes no saben cómo funciona una máquina tragamonedas se incluye un programa de simulación de una de estas máquinas en el sitio de internet de este libro; por desgracia, no paga dinero de verdad.

Las tragamonedas están diseñadas para pagar un porcentaje determinado del dinero que toman. Los pagos comunes son entre 90 y 95% de lo que entra; es decir, el casino se queda con entre 5 y 10%. Los porcentajes del pago están en función del número de símbolos diferentes que haya en cada banda. Todos los símbolos se repiten en cada banda cierto número de veces. Por ejemplo, si una banda tiene 10 símbolos, uno puede ser una barra, otro una doble barra, otro un limón; dos pueden ser cerezas, tres el siete de la suerte y dos una campana de la libertad. Como las bandas se detienen en un símbolo de forma aleatoria, la probabilidad de que los siete de la suerte salgan en las tres bandas es de $3/10 \times 3/10 \times 3/10 = 0.027$, o 2.7% de las veces. La probabilidad de que ciertas combinaciones de símbolos salgan, aunada al pago por cada combinación, establece el porcentaje promedio que se espera que pague la máquina.

Piense en una tragamonedas mecánica que paga 95% de las monedas jugadas. Después, suponga que el jugador promedio introduce una moneda a la máquina cada 15 segundos. Se dice que este intervalo de 15 segundos es el *tiempo del ciclo* del proceso. El **tiempo del ciclo** de un proceso repetitivo es el tiempo promedio que transcurre entre el final de unidades sucesivas. En el caso de la tragamonedas, la unidad es un dólar de plata. Si el tiempo del ciclo es 15 segundos, la máquina puede procesar 4 dólares (60 segundos/15 segundos) por minuto, o 240 dólares por hora ($4/minuto × 60 minutos). Como la tragamonedas paga 95%, cabe esperar que pague al cliente 228 monedas de un dólar (240 × 0.95) de los que tomó y retenga 12 dólares para el casino por cada hora de funcionamiento. Si se empieza con 100 monedas de un dólar, se podría jugar unas 8.3 horas ($100/$12 por hora) antes de que se terminen. Se podría correr con suerte y ganar el premio mayor o no tener suerte y perder todo en la primera hora, pero, en promedio, esperaríamos perder los 100 dólares en 8.3 horas.

Tiempo del ciclo



Paso 2. Análisis de la nueva máquina tragamonedas electrónica Ahora piense en la nueva tragamonedas electrónica. Funciona de la misma manera, con la única diferencia de que procesa las monedas en 10 segundos. Con un tiempo de ciclo de 10 segundos, la máquina procesa 6 dólares por minuto (60 segundos/10 segundos), o 360 dólares por hora ($6/minuto × 60 minutos). Con un pago de 95%, la máquina daría al cliente 342 monedas de un dólar (360 × 0.95) y, cada hora, retendría 18 dólares para el casino. Esta máquina agotaría los 100 dólares en solo 5.5 horas ($100/$18 por hora).

Paso 3. Comparación Así, en 24 horas, ¿cuánto gana una tragamonedas electrónica para el casino en comparación con una mecánica? Se necesita un poco más de información fundamental: ¿Durante cuánto tiempo trabaja la tragamonedas dentro de un periodo de 24 horas? El casino piensa que, de las 24 horas, la máquina solo se utiliza durante 12 horas; estas 12 horas representan el índice de utilización que se espera de la máquina. La **utilización** es la proporción de tiempo durante el cual un recurso está de verdad activo en relación con el tiempo disponible para su uso. Así, al ajustar con utilización, el ingreso esperado de la máquina mecánica es $144/día ($12/hora × 24 horas × 0.5) en comparación con el ingreso de $216/día ($18/hora × 24 horas × 0.5) de la máquina electrónica. Cuando se efectúa un análisis es importante calificarlo con base en los supuestos aplicados. En esta comparación se supuso que el operador solo introduce un dólar de plata en la máquina cada vez, y que la utilización de la máquina mecánica es igual a la de la electrónica.

Utilización

Paso 4. La máquina tragamonedas es uno de los muchos procesos del casino La velocidad de la tragamonedas tiene un efecto considerable en los ingresos del casino. Una máquina

solo representa una pequeña parte del casino. Para apreciar el ingreso total del casino se deben considerar todos los demás procesos que generan ingresos, como las mesas de blackjack y de póquer, juegos de keno, dados y otros más. Muchas veces, el análisis de una empresa implica la evaluación de una serie de actividades independientes, como en el caso de la máquina tragamonedas. Quizás el desempeño agregado de cada actividad individual baste para comprender el proceso global. Por otro lado, muchas veces es preciso considerar la interacción sustantiva entre actividades o procesos individuales.

Piense en el casino. Muchos casinos ofrecen grandes descuentos en los alimentos que sirven ahí mismo. ¿Cuál supone usted que sería la prioridad del gerente de operaciones de alimentos de un casino? ¿Es importante servir una comida deliciosa? ¿Su costo es importante? ¿La agilidad del servicio es importante? Por supuesto que la buena comida es importante; si no lo es, el cliente ni siquiera considerará la posibilidad de comer en el casino. Esto sería malo para el negocio porque si los clientes se van a otra parte, se llevan consigo su dinero. Recuerde que el casino gana dinero según el tiempo que los clientes jueguen. Cuanto más tiempo pasen jugando, tanto más dinero gana el casino. ¿Qué decir del costo? Si los clientes piensan que la comida es demasiado cara, tal vez se vayan. Por tanto, es importante mantener bajo el costo de la comida de modo que se ofrezca a un precio barato. Muchos casinos ofrecen incluso comidas gratis. ¿Cuán importante es un servicio rápido? Véalo así: cada minuto que los clientes están en el restaurante, dejan de introducir dólares en la máquina tragamonedas. Por tanto, la velocidad es importante porque afecta los ingresos que generan los juegos del casino.

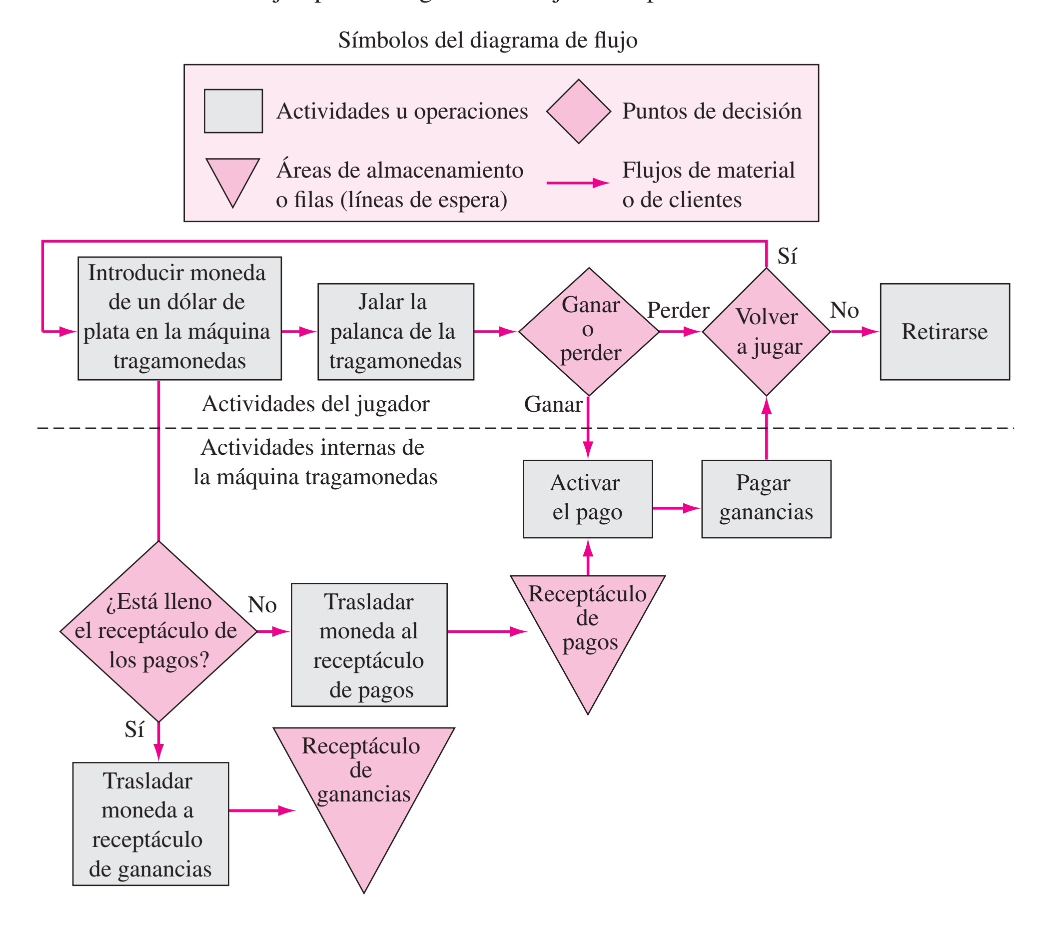
Diagramas de flujo de procesos

Las actividades asociadas a un proceso con frecuencia se afectan entre sí, por lo cual es importante considerar el desempeño simultáneo de una serie de actividades que operen al mismo tiempo. Al analizar un proceso, es recomendable empezar con un diagrama que muestre sus elementos básicos, por lo general, actividades, flujos y zonas de almacenamiento. Las actividades se presentan en forma de rectángulos, los flujos como flechas y el almacenamiento de bienes o de otros artículos como triángulos invertidos. A veces, los flujos que pasan por un proceso se dirigen en distintos sentidos, según las condiciones. Los puntos de decisión se representan con un diamante, de cuyas puntas salen diferentes flujos. La ilustración 5.1 presenta ejemplos de estos símbolos. En ocasiones resulta muy útil dividir un diagrama en varias bandas horizontales o verticales. Esto permite separar las actividades que forman parte del proceso. Por ejemplo, en el caso de la máquina tragamonedas, las actividades del cliente se separan de las propias de la máquina.

En el ejemplo de la máquina tragamonedas, el nivel de abstracción considera que la máquina es una simple caja negra que recibe monedas de un dólar y, dentro de cada ciclo, los retiene o devuelve algunos de ellos. Si el propósito es tan solo analizar cuánto se espera que genere la máquina al casino cada hora, no está mal suponer que la tragamonedas es una caja negra. Pero en realidad se requieren más actividades para sostener la máquina tragamonedas. En su interior hay dos receptáculos para las monedas. Un receptáculo contiene las monedas que la tragamonedas necesita para uso interno. Cuando un cliente gana, la paga proviene de este receptáculo. La tragamonedas se diseñó para que de manera automática mantenga lleno el receptáculo de los pagos durante el juego. Cuando el receptáculo de los pagos está lleno, las monedas de un dólar se depositan en otro receptáculo que guarda las ganancias. Este receptáculo debe vaciarse periódicamente para recaudar las ganancias del casino. El diagrama de flujo de la ilustración 5.1 describe las actividades externas del jugador y el movimiento interno de las monedas dentro de la máquina.

Quizá lo más interesante del receptáculo de pagos sea su tamaño adecuado. Si el receptáculo de pagos se vacía, la tragamonedas está programada para detenerse y encender una luz en la parte superior para avisar al personal del casino que un cliente afortunado la vació. El receptáculo del pago contiene el monto suficiente para afrontar este raro suceso. Piense en el receptáculo del pago como un amortiguador o un área intermedia para almacenar las monedas de un dólar que permite a la tragamonedas operar sola. Cuanto más pequeño sea el receptáculo del pago, tanto mayor será la atención que el personal del casino deba prestar a la máquina y tanto mayor será el tiempo que la máquina esté inactiva porque no tiene monedas de un dólar. Por otro lado, con un receptáculo más grande, hay una mayor cantidad de dinero inactivo.

ILUSTRACIÓN 5.1 Ejemplo de diagrama de flujo de un proceso.



El caso del receptáculo de las ganancias de la máquina es similar al anterior. Un receptáculo pequeño de ganancias debe vaciarse con más frecuencia. Por otra parte, un receptáculo de ganancias grande significa que el casino no deposita el dinero en su cuenta bancaria con demasiada rapidez. No es difícil ver la ventaja de amortiguar las operaciones de la tragamonedas. Los amortiguadores grandes permiten que el proceso opere de modo independiente, mientras que los amortiguadores pequeños requieren más atención. En el caso de una máquina tragamonedas, el amortiguador está compuesto por monedas de un dólar. En otras situaciones, cuando el amortiguador está compuesto por otras cosas, como materias primas, estas tienen un valor y, por tanto, representan dinero.

Piense que se espera que una máquina tragamonedas deposite 12 dólares en el receptáculo de ganancias cada hora. Si el receptáculo de ganancias tiene cabida para 1 000 monedas de un dólar, entonces es probable que sea necesario vaciarlo cada 83.3 horas ($1 000/$12 por hora) si la tragamonedas se usa 100% del tiempo. Es interesante considerar lo que ocurre cuando se llena el receptáculo de ganancias. Si la tragamonedas tiene bastante inteligencia para saber que el receptáculo de ganancias está lleno, se podría programar para que deje de trabajar cuando se enciende su luz, tal como lo hace cuando se vacía el receptáculo de pagos. Esto provocaría que la máquina estuviera parada cierto tiempo y podría alterar al cliente que está usando la máquina porque se tendría que cambiar a otra tragamonedas. Si la máquina no estuviera programada para dejar de funcionar, entonces las monedas de un dólar llenarían todo el espacio donde se ubica el receptáculo en la base de la máquina. Imagine el desastre cuando el trabajador del casino abriera la máquina rebosante, con todas estas monedas de un dólar desparramándose al salir. ¿Con cuánta frecuencia planearía vaciar el receptáculo de las ganancias?

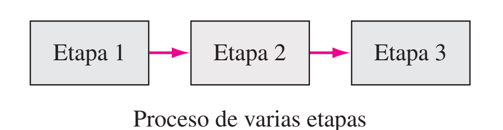
Una forma sencilla de trazar diagramas de flujo es utilizar la galería Formas que ofrece la suite de Office de Microsoft (Word, Excel y PowerPoint). Para acceder a esta galería, haga clic en la pestaña Insertar y elija “Formas”. Así se despliegan varios símbolos de diagramas de flujo

que puede usar para crear su diagrama. Puede añadir texto seleccionando un símbolo y después haciendo clic con el botón derecho del ratón. Seleccione "Añadir texto" para introducir el texto en el símbolo. Los símbolos se pueden conectar con las "Líneas" disponibles en la galería de Formas. Con estas herramientas se elaboran diagramas de flujo muy completos.

Tipos de procesos

Es conveniente clasificar los procesos de modo que describan el diseño del proceso. Cuando es posible clasificar rápido un proceso se aprecian las similitudes y diferencias entre procesos.

La primera manera de clasificar un proceso consiste en determinar si se trata de un proceso de *una sola etapa* o uno de *varias etapas*. Si la máquina tragamonedas se considerara una simple caja negra, se clasificaría como un proceso de una etapa. En tal caso, todas las actividades implicadas en la operación de la tragamonedas se juntarían y se analizarían con un solo tiempo de ciclo para representar la velocidad de la máquina. Un proceso de varias etapas tiene diversos grupos de actividades ligados por flujos. Con el término *etapa* se indica que se reunieron varias actividades para efectos de análisis.



Proceso de varias etapas

AMORTIGUAMIENTO, BLOQUEO Y OCIO

Amortiguamiento

Un proceso de varias etapas se puede amortiguar internamente. El **amortiguamiento** se refiere a un espacio de almacenamiento entre etapas, donde se coloca el producto de una etapa antes de emplearlo en una etapa posterior. El amortiguamiento permite que las etapas operen en forma independiente. Si una etapa alimenta a una segunda etapa sin un amortiguador intermedio, entonces se supone que las dos etapas están ligadas directamente. Cuando un proceso se diseña así, los problemas que se pueden presentar con más frecuencia son bloqueo y ocio. El **bloqueo** se presenta cuando se deben detener las actividades de la etapa porque el artículo recién terminado no se puede depositar en ningún lugar. El **ocio** se presenta cuando las actividades de una etapa se deben detener porque no hay trabajo.

Bloqueo

Ocio

Considere un proceso de dos etapas en cuyo caso la primera tiene un tiempo de ciclo de 30 segundos y la segunda un tiempo de ciclo de 45 segundos. Si el proceso debe producir 100 unidades, entonces, por cada unidad producida, la primera etapa quedaría bloqueada durante 15 segundos.

¿Qué sucedería si se colocara un inventario amortiguador entre las dos etapas? En este caso, la primera etapa terminaría las 100 unidades en 3 000 segundos (30 segundos/unidad × 100 unidades). Durante estos 3 000 segundos, la segunda etapa solo terminaría 66 unidades ((3 000 – 30) segundos/45 segundos/unidad). Se restan los 30 segundos de los 3 000 segundos porque a la segunda etapa se privan los primeros 30 segundos. Esto significaría que el inventario llegaría a 34 unidades (100 unidades – 66 unidades) durante los primeros 3 000 segundos. Todas las unidades se producirían en 4 530 segundos. En este caso, la segunda etapa se llama **cuello de botella**, pues limita la capacidad del proceso.

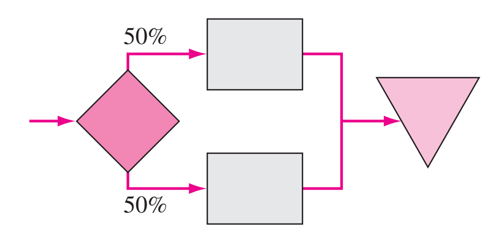
Cuello de botella

¿Qué sucedería si la primera etapa requiriera 45 segundos y la segunda tuviera el tiempo de ciclo de 30 segundos? En este caso, la primera etapa sería el cuello de botella y cada unidad pasaría directamente de la primera etapa a la segunda. La segunda etapa estaría ociosa durante 15 segundos en espera de cada unidad; no obstante, aún se requerirían 4 530 segundos para terminar las 100 unidades. Todo lo anterior supone que el tiempo del ciclo no varía. Con la relativamente baja utilización de 67% de la segunda etapa, la variación tendría pocas repercusiones en el desempeño de este sistema, pero si los tiempos del ciclo se aproximaran más, en el amortiguador se acumularía cierto inventario.

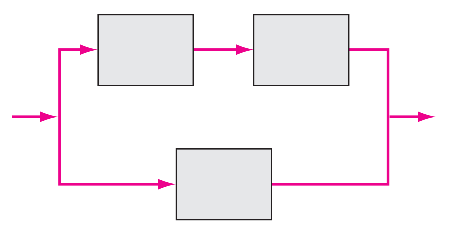
Con frecuencia, actividades, etapas e incluso procesos enteros operan en forma paralela. Por ejemplo, si se operan dos actividades idénticas en forma paralela, en teoría se duplicaría la capacidad. O quizá se desempeñen al mismo tiempo dos grupos de actividades en la unidad que se produce. Al analizar un sistema con actividades o etapas paralelas es importante conocer

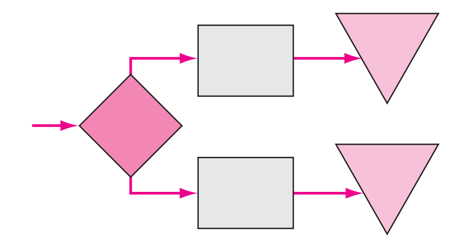
Proceso de varias etapas con amortiguador

el contexto. En caso de que los procesos paralelos representen alternativas, por ejemplo, un diamante mostraría que los flujos se desvían y el porcentaje del flujo que se dirige en cada sentido. Hay casos en que dos o más procesos terminan en un inventario amortiguador común. Por lo normal, esto indica que los dos procesos producen artículos idénticos que llegan a este inventario. En el diagrama se deben utilizar inventarios separados cuando son distintos los productos de los procesos paralelos.



Caminos alternativos


Actividades simultáneas


Producción de diferentes bienes

FABRICAR PARA EXISTENCIAS O POR PEDIDO

Otra forma conveniente de clasificar el proceso es definir si *fabrica para existencias* o *por pedido.* A fin de ilustrar estos conceptos, piense en los procesos para hacer hamburguesas en las tres cadenas de restaurantes de comida rápida más grandes de Estados Unidos: McDonald's, Burger King y Wendy's. En McDonald's, en 1999 la compañía cambió a un nuevo proceso de fabricar por pedido, pero lo revisó y optó por un sistema "híbrido". Se inicia el recorrido por las estrategias de los principales restaurantes de comida rápida, y se repasa primero la estrategia tradicional.

Piense en un restaurante tradicional de hamburguesas. Antes de la era de la comida rápida, las hamburguesas siempre se confeccionaban por pedido. En el proceso tradicional, el cliente especifica en su pedido el grado de cocción de la carne (mediana o muy cocida) y solicita condimentos específicos (pepinillos, queso, mostaza, cebollas, salsa de tomate). Con esta especificación, el cocinero toma carne molida cruda del inventario (por lo general el inventario está refrigerado y las hamburguesas ya están preparadas), cocina la hamburguesa y calienta el pan. A continuación arma la hamburguesa y la entrega al cliente. La calidad de la hamburguesa depende mucho de la habilidad del cocinero.

Fabricar por pedido

Este proceso de **fabricar por pedido** solo se activa en respuesta a un pedido colocado. El inventario (de trabajo en proceso y de bienes terminados) se mantiene al mínimo. En teoría, se esperaría que el tiempo de respuesta fuese lento porque es preciso terminar todas las actividades antes de entregar el producto al cliente. Los servicios, por su naturaleza, muchas veces aplican procesos de fabricación por pedido.

Servicio

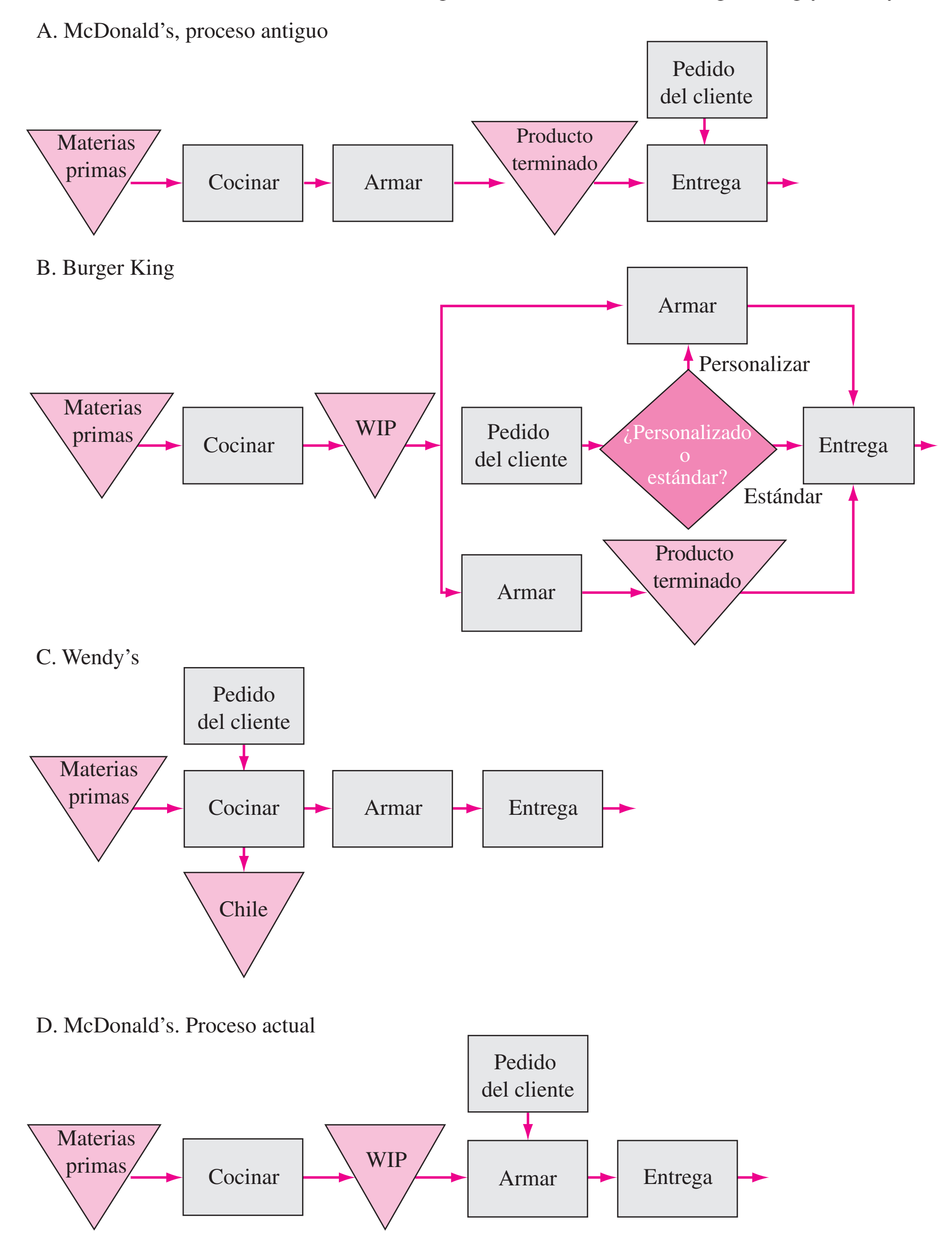
McDonald's revolucionó el proceso de producción de hamburguesas con una estrategia de gran volumen. La ilustración 5.2*A* muestra un diagrama del proceso tradicional de McDonald's. Hasta hace poco, las hamburguesas se asaban en lotes. Las hamburguesas estándar (por ejemplo, la "Big Mac", con dos hamburguesas de carne, salsa, lechuga, queso, pepinillos y cebolla dentro de un pan con semillas de ajonjolí) se preparaban y almacenaban en una canastilla para la entrega inmediata al cliente. Una persona calculaba la demanda normal y colocaba los pedidos para tener en la canastilla el inventario en un nivel adecuado, con lo cual controlaba el proceso entero. Se trata de un proceso de **fabricar para existencias** muy eficiente que genera productos estándar para entregar con rapidez al cliente. Este proceso rápido le agrada a familias con niños pequeños, para quienes es importante la velocidad de entrega.

Fabricar para existencias

En general, un proceso de fabricar para existencias termina con un inventario de bienes terminados; a continuación, los pedidos del cliente se atienden conforme a este inventario. Un proceso de fabricar para existencias se controla con base en la cantidad anticipada o real del inventario de bienes terminados. Por ejemplo, se puede establecer un nivel meta de existencias y se activaría periódicamente un proceso para mantenerlo. Los procesos de fabricar para existencias también se utilizan cuando la demanda es estacional. En este caso, el inventario se crea durante la temporada baja y se utiliza durante la alta, lo que permite que el proceso avance con un ritmo constante a lo largo de todo el año.

La característica singular del proceso de Burger King, como presenta la ilustración 5.2*B*, es una banda asadora muy especializada. Las hamburguesas crudas se colocan en una banda que pasa por un asador encendido. Las hamburguesas se cuecen de los dos lados exactamente en 90 segundos y tienen un sabor único a carne asada. Debido al tiempo fijo para que la hamburguesa

ILUSTRACIÓN 5.2 Producción de hamburguesas en McDonald's, Burger King y Wendy's.



pase por la banda asadora, el grosor de todas las hamburguesas debe ser igual. El pan también se calienta en una banda. Este sistema genera un producto único y muy consistente. Las hamburguesas asadas se almacenan en un recipiente caliente. Durante periodos de gran demanda, se preparan algunas hamburguesas estándar y se guardan en el inventario para su entrega inmediata. Las hamburguesas especiales, con combinaciones únicas de condimentos, se preparan por pedido. Este proceso *híbrido* ofrece flexibilidad para responder a las preferencias de los clientes en razón del proceso final de armarlas por pedido; de ahí el lema "a su gusto" de Burger King. En general, los **procesos híbridos** combinan las características de fabricar por pedido y fabricar para existencias. En este caso, los dos tipos de procesos son alternativas paralelas al final del proceso de Burger King. En la forma híbrida más común, un producto genérico se fabrica y almacena en algún punto del proceso. A continuación, estas unidades genéricas se terminan mediante un proceso final que se basa en los pedidos colocados.

Procesos híbridos

Para continuar con el recorrido, Wendy's usa un proceso de fabricar por pedido (como muestra la ilustración 5.2*C*) a plena vista del cliente. Las hamburguesas se cuecen en una plancha. Cuando se requiere un gran volumen, el cocinero trata de adelantarse un poco y se anticipa a la llegada de los clientes. Las hamburguesas que están sobre la plancha demasiado tiempo se usan en la sopa llamada "chili"; cuando llega un pedido, toma una hamburguesa de la plancha y la prepara según las especificaciones exactas del cliente. Como el proceso inicia con la cocción de la hamburguesa, este es un poco más lento. El cliente ve el proceso y su percepción es la de un producto de gran calidad, hecho a su medida.

Proceso de fabricar por pedido de Wendy's.

Por último, el nuevo proceso de McDonald's desde 1999 (ilustración 5.2*D*) es híbrido. Las hamburguesas cocidas van al inventario, en un receptáculo especial que conserva la humedad de la carne cocida hasta 30 minutos. Este proceso requiere la tecnología culinaria más reciente. Las hamburguesas se cuecen en menos de 45 segundos; los panes se tuestan solo 11 segundos. Los componentes individuales del pedido de cada cliente se transmiten de inmediato al área donde se arman las hamburguesas mediante un sistema de computadora diseñado especialmente para el efecto. El armado, que incluye tostar el pan, está diseñado para responder a la orden de un cliente en solo 15 segundos. Al combinar la tecnología más reciente y la ingeniería inteligente de procesos, McDonald's desarrolló un proceso que responde con suma rapidez. El producto es fresco, se entrega rápido y se prepara según las especificaciones exactas del cliente.

Proceso de armado de McDonald's.

Cada proceso de estas empresas tiene sus puntos fuertes y débiles. McDonald's es líder en grandes volúmenes y atiende a familias con niños pequeños. Burger King tiene un sabor único. Quienes quieren sus hamburguesas preparadas a la antigua prefieren Wendy's. Cada compañía enfoca su publicidad y sus actividades promocionales a atraer al segmento del mercado que las características de su proceso apoyan mejor.

Un último método para clasificar un proceso es determinar si sigue o no sigue pasos. Recuerde que Burger King utiliza una banda asadora para cocer las hamburguesas en exactamente 90 segundos. La **cadencia** se refiere a los tiempos fijos del movimiento de los objetos que pasan por un proceso. En un proceso en serie, el tránsito de los objetos por cada actividad (o etapa) muchas veces sigue pasos mecánicos con cierto ritmo para coordinar la línea. Por ejemplo, una línea de montaje puede avanzar cada 45 segundos. Otro mecanismo es un reloj que marca el tiempo que resta de cada ciclo. Cuando el reloj llega a cero, las piezas se trasladan en forma manual a la siguiente actividad. Al dividir el tiempo disponible para producir cierto producto entre la demanda de consumo de ese producto, se calcula el tiempo del ciclo que se requiere para un proceso. Por ejemplo, si un fabricante de automóviles tiene que producir 1 000 unidades en un turno durante el cual la línea de montaje opera 420 minutos, el tiempo del ciclo es de 25.2 segundos (420 minutos/1 000 automóviles × 60 segundos/minuto = 25.2 segundos/automóvil).

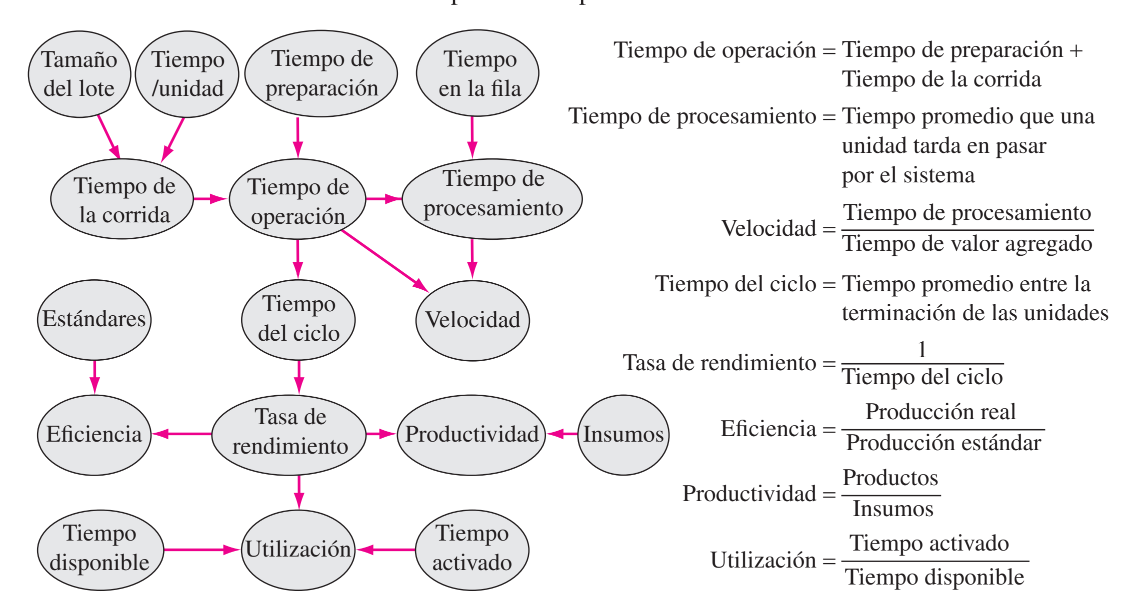
Cadencia

Medición del desempeño de los procesos

Las formas de calcular las medidas del desempeño en la práctica son muy variables. Esta sección define las medidas de modo congruente con la más común en la práctica. Sin embargo, antes de tomar decisiones, es vital entender con precisión cómo se calcula una medida propia de una empresa o industria particular. Sería mucho más fácil si las medidas se calcularan con más uniformidad, pero no es el caso. Por tanto, si un gerente afirma que su utilización es de 90% o su eficiencia es de 115%, la pregunta conducente sería: "¿Cómo lo calculó?" Las medidas muchas veces se calculan en el contexto de un proceso particular. Las medidas de los casos que usted estudia tal vez se definan de manera un poco diferente de las que se presentan aquí. Es importante comprender cómo se aplica un término en el contexto en cuestión.

La comparación entre las medidas de una empresa y otra, muchas veces llamado *benchmarking*, es una actividad importante. Las medidas indican a la empresa si se avanza hacia una mejoría. Así como las medidas financieras tienen valor para los contadores, las medidas del desempeño de los procesos permiten al gerente de operaciones ponderar la productividad actual de un proceso y cómo cambia con el tiempo. A menudo, los gerentes de operaciones deben mejorar el desempeño de un proceso o proyectar las repercusiones de un cambio propuesto. Las medidas descritas en esta sección son importantes para responder estas preguntas. Para comprender estos cálculos, la ilustración 5.3 muestra cómo estas medidas se relacionan entre sí.

ILUSTRACIÓN 5.3 Medidas de desempeño de los procesos.



La medida más común de los procesos quizá sea la utilización. Como ya se mencionó en este capítulo, la utilización es la proporción de tiempo que en realidad se usa un recurso en relación con el tiempo disponible para su uso. La utilización siempre se mide en relación con algún recurso; por ejemplo, la utilización de la mano de obra directa o el empleo de una máquina como recurso. La diferencia entre productividad y utilización es importante. La **productividad** es la proporción entre productos e insumos. La productividad total de los factores se suele medir en unidades monetarias, como dólares, al tomar el valor de la producción en dólares (bienes y servicios vendidos) y dividirlo entre el costo de todos los insumos (es decir, materiales, mano de obra e inversión de capital). Por otra parte, la *productividad parcial de los factores* se mide con base en un insumo individual, el más común de los cuales es la mano de obra. La productividad parcial de los factores responde a la pregunta de cuántos productos se obtienen de un nivel dado de insumos; por ejemplo, ¿cuántas computadoras se fabrican por empleado en una planta que produce computadoras? (En el capítulo 2 hay más información acerca de la productividad.) La utilización mide la activación real del recurso. Por ejemplo, ¿cuál es el porcentaje de tiempo que una máquina costosa en realidad está en operación?

Productividad

Eficiencia

La **eficiencia** es una proporción entre la producción real de un proceso y un parámetro determinado. Por ejemplo, piense en una máquina diseñada para empacar cereal con un ritmo de 30 cajas por minuto. Si resulta que los operadores de un turno producen con un ritmo de 36 cajas por minuto, entonces la eficiencia de la máquina es de 120% (36/30). Con el término *eficiencia* también se mide la ganancia o pérdida de un proceso. Por ejemplo, si se invierten 1 000 unidades de energía en un proceso diseñado para convertirlas a otra forma de energía y el proceso solo produce 800 unidades de la nueva energía, entonces el proceso tiene una eficiencia de 80 por ciento.

Tiempo de corrida
Tiempo de preparación

El **tiempo de corrida** es el que se requiere para producir un lote de piezas. Se calcula al multiplicar el tiempo requerido para producir cada unidad por el tamaño del lote. El **tiempo de preparación** es el que se requiere para preparar la máquina a efecto de fabricar un artículo particular. Las máquinas que requieren mucho tiempo para su preparación por lo general sacarán las piezas en lotes. El **tiempo de operación** es la suma del tiempo de preparación y el tiempo de la corrida para un lote de piezas que pasan por una máquina. Piense en la máquina empacadora de cereales diseñada para producir con un ritmo de 30 cajas por minuto. El tiempo de corrida de cada caja es de dos segundos. Para cambiar la máquina de cajas de 16 onzas a cajas de 12 onzas se requiere un tiempo de preparación de 30 minutos. El tiempo de operación para fabricar un lote de 10 000 cajas de 12 onzas es de 21 800 segundos (30 minutos de preparación × 60 segundos/minuto + 2 segundos/caja × 10 000 cajas), o 363.33 minutos.

Tiempo de operación

En la práctica, el tiempo de preparación muchas veces no se incluye en el proceso de utilización. En esencia, el tiempo de preparación se clasifica igual que el tiempo muerto provocado por una reparación o alguna otra interrupción del proceso. Este supuesto varía de una empresa a otra, por lo cual es importante, al comparar la utilización de una máquina u otro recurso, se conozca con exactitud cómo clasifica la empresa el tiempo de preparación.

Tiempo de procesamiento

El tiempo del ciclo (también ya definido en este capítulo) es el que transcurre entre el inicio y el fin de una labor.[1] Otro término relacionado es **tiempo de procesamiento**, el que transcurre mientras en realidad se trabaja en una unidad y el que se espera en una fila. Como ejemplo simple, piense en una línea de montaje por pasos que tiene seis estaciones y funciona con un tiempo de ciclo de 30 segundos. Si las estaciones están situadas una después de la otra y cada 30 segundos las piezas pasan de una estación a otra, entonces el tiempo de procesamiento es de tres minutos (30 segundos × 6 estaciones/60 segundos por minuto). La **tasa de rendimiento** es el porcentaje de productos que se espera del proceso durante un periodo determinado. La tasa de rendimiento de la línea de montaje es de 120 unidades por hora (60 minutos/hora × 60 segundos/minuto ÷ 30 segundos/unidad). En este caso, el índice de procesamiento es lo contrario del tiempo del ciclo en términos matemáticos.

Tasa de rendimiento

Muchas veces no se trabaja en las unidades 100% del tiempo conforme pasan por un proceso. Como suele haber cierta variación en el tiempo del ciclo de un proceso, se incorporan amortiguadores a efecto de que las actividades individuales operen de modo independiente, al menos en cierta medida. En la línea de montaje de seis estaciones antes descrita, piense en las repercusiones de tener 10 puestos amortiguadores adicionales a lo largo de la línea. Suponga que dos de estos puestos están entre la primera y la segunda estaciones de trabajo, dos están entre las estaciones 2 y 3, y así sucesivamente. Si estos puestos siempre están ocupados, entonces el tiempo de procesamiento sería de ocho minutos (si se supone un total de 16 puestos a lo largo de la línea de montaje y un tiempo de ciclo promedio de 30 segundos).

Velocidad del proceso (proporción del procesamiento)

Tiempo de valor agregado

La **velocidad del proceso** (también llamada **proporción o índice del procesamiento**) es la proporción entre el tiempo total de procesamiento y el tiempo de valor agregado. El **tiempo de valor agregado** es el que transcurre mientras en realidad se trabaja en una unidad de modo útil. Si se supone que todas las actividades propias del proceso son de valor agregado, el tiempo de valor agregado debe ser la suma de los tiempos de las actividades operativas del proceso. La velocidad del proceso (o proporción del procesamiento) de la línea de montaje con 10 puestos amortiguadores adicionales, si se supone que los puestos se usan 100% del tiempo, es de 2.66 (8 minutos/3 minutos).

1 unidad → 2 unidades → 1 unidad → 2 unidades → 1 unidad → 2 unidades → 1 unidad → 2 unidades → 1 unidad → 2 unidades → 1 unidad

[1] El término *tiempo del ciclo* muchas veces se utiliza con el sentido de *tiempo de procesamiento*. Es importante prestar atención para establecer cómo se aplica el término en el contexto del proceso en estudio.

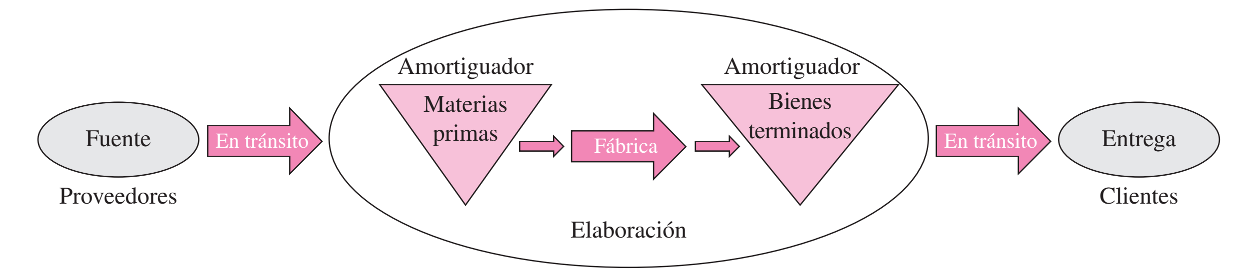
Diagrama del proceso de producción y ley de Little

Cadena de suministro

A continuación veremos cómo crear rápidamente un diagrama de alto nivel de un proceso, útil para entender cómo fluye el material y dónde se mantiene el inventario. Este método debe ser el primer paso para analizar el movimiento del material a través de un proceso de producción. Esta idea se perfecciona más aún en el apartado "Diagrama de flujo de valor", en el capítulo 13.

Considere un sistema sencillo que sea característico de muchas empresas para fabricar por pedidos. Como se ve en la ilustración 5.4, el material se adquiere de un conjunto de proveedores y al principio se coloca en el inventario de materias primas. El material se emplea en un proceso de manufactura donde el producto se fabrica. Después de la fabricación, el producto va al almacén de bienes terminados, de donde sale según los pedidos de los clientes.

ILUSTRACIÓN 5.4 Mapa del proceso de fabricar para existencias.



Si nos concentramos en la parte de elaboración del proceso es útil analizar cómo opera este paso con medidas de operación que se relacionan con la inversión de inventario, y también con qué rapidez se mueve el material por el proceso. Una forma sencilla de considerar el material en un proceso es que está en uno de dos estados; el primero es en donde el material se mueve "en tránsito". El segundo estado es material en inventario en calidad de "amortiguador" a la espera de utilizarse.

En el primer estado, el material se mueve en el proceso. Se trata de materias primas en tránsito entre entidades en el proceso, por ejemplo, entre el vendedor y el inventario de materias primas en las instalaciones del fabricante. El material en proceso de manufactura en una fábrica también se considera en tránsito. En realidad, nos referimos a este material como inventario de "trabajo en proceso". En el segundo estado, el material se mantiene en un lugar de almacenamiento y espera hasta que sea necesario. En inventarios de materias primas, la necesidad depende del uso que la fábrica dé al artículo. Este inventario "amortiguador" permite que diferentes entidades del proceso operen de manera relativamente independiente.

Valor total promedio de inventario

Rotación de inventario

Una medida común es el **valor total promedio de inventario** en el proceso. Desde el punto de vista de la contabilidad es la suma del valor (al costo) del inventario de la materia prima, del trabajo en proceso y de artículos terminados. Además del valor total de este inventario, otra medida es la **rotación de inventario**, o el costo de artículos vendidos dividido entre el valor promedio de inventario. Si bien son útiles para fines de contabilidad, estas medidas no lo son particularmente para evaluar la operación de un proceso. Considere el valor total promedio de inventario. ¿Qué es mejor, una empresa con inventario por valor de 2 millones de dólares en promedio o una que tiene 4 millones de dólares? Esto depende en gran medida del tamaño de la empresa, su estrategia (fabricar por pedidos o para existencias, por ejemplo) y el costo relativo del producto que se produce.

Días de suministro

Una mejor medida que el valor total de inventario es la rotación de inventario. Como la rotación de inventario mide la cantidad de inventario dividida entre el costo de los artículos vendidos, esto da una medida relativa con algún grado de comparación, al menos en empresas semejantes. Para dos fabricantes similares de productos al consumidor, una rotación de inventario de seis veces por año sin duda es mucho mejor que una empresa con rotación de inventario de dos veces al año. Una medida directamente relacionada es la de **días de suministro**, la inversa de la rotación de inventario en escala de días. Por ejemplo, si una empresa tiene rotación de inventario

seis veces al año, los días de suministro son iguales a un sexto por año, o más o menos cada 61 días (esto se calcula como 1/6 de año × 365 días/año = 60.8 días).

Ley de Little

Los sistemas sencillos se analizan con rapidez mediante un principio conocido como **ley de Little**. Esta ley postula una relación de largo plazo entre inventario, producción y tiempo de ejecución de un sistema de producción en estado estable. La relación es:

$$\textit{Inventario} = \textit{Tasa de rendimiento} \times \textit{Tiempo de procesamiento} \quad \textbf{(5.1)}$$

Como se vio anteriormente, la tasa de rendimiento es la tasa promedio de largo plazo en que los artículos se desplazan por el proceso, y el tiempo de procesamiento es el que tarda una unidad para pasar por el proceso de principio a fin. Considere el proceso de fabricación de la ilustración 5.4. Las materias primas llegan a la fábrica, se transforman y luego se almacenan en el inventario de artículos terminados. El análisis supone la operación de un proceso en "estado estable", lo cual significa que, en un periodo extenso, la cantidad que produce la fábrica es igual a la cantidad enviada a clientes. La rapidez de producción del proceso es igual al promedio de demanda, y el proceso no produce en exceso ni con escasez. Si esto no fuera así y la cantidad producida por el proceso de manufactura fuera mayor que la demanda, por ejemplo, con el tiempo se acumularía el inventario de artículos terminados. Entonces, si el promedio de demanda es de 1 000 unidades por día y se requieren 20 días para que una unidad se traslade por la fábrica, el trabajo en proceso esperado en la fábrica sería de 20 000 unidades.

Es posible ver la ley de Little como una relación entre unidades y tiempo. El inventario se mide en cantidad de piezas, tiempo de ejecución en días y producción en piezas por día. Por tanto, si dividimos el inventario entre el rendimiento se obtiene el tiempo de procesamiento. Por ejemplo, 20 000 unidades divididas entre 1 000 unidades por día son 20 días. Asimismo, al dividir el inventario entre el tiempo de procesamiento se obtiene la tasa de rendimiento. Aquí, 20 000 unidades divididas entre 20 días resulta en 1 000 unidades al día. Esta conversión es útil al diagnosticar el desempeño de una planta.

Para apreciar una limitación importante, supongamos que acaba de iniciarse un proceso sin contar con inventario. Parte de la producción inicial se empleará para llenar el sistema, lo que limitará la producción inicial. En este caso no se cumple la ley de Little, pero después que el proceso opere un tiempo y haya inventario en todos los pasos, el proceso se estabiliza y entonces se cumple la relación.

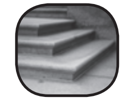
Cadena de suministro

La ley de Little es en realidad mucho más general que una simple forma de conversión entre unidades. Se aplica a estaciones de trabajo individuales, a líneas de producción de pasos múltiples, a fábricas o incluso a cadenas completas de suministro. Además, es válida en procesos con índice variable de llegada (o índice de demanda) y tiempo de procesamiento; se aplica a sistemas individuales o múltiples de producción, e incluso a sistemas que no sean de producción, en donde el inventario represente personas, pedidos financieros u otras entidades.

Para nuestra fábrica es común que los sistemas de contabilidad capturen el promedio de trabajos en proceso en términos del valor (al costo) del inventario que se trabaja en la fábrica. Para nuestro ejemplo, digamos que el trabajo en proceso promedia $200 000 y que cada unidad está valuada al costo en $10.00. Esto implicaría que hay 20 000 unidades en la fábrica (calculada en $200 000 ÷ $10.00 por unidad = 20 000 unidades).

El siguiente ejemplo muestra cómo analizar con rapidez procesos sencillos mediante estos conceptos.

Global



Paso por paso

EJEMPLO 5.1

Una empresa fabricante de automóviles ensambla autos en una planta y compra baterías a un vendedor en China. El costo promedio de cada batería es de $45. La empresa automotriz toma la propiedad de las baterías cuando llegan a la planta. La fabricación de un auto en la planta tarda 12 horas exactas, y ensambla 200 autos cada turno de 8 horas (en la actualidad, la planta opera en un turno por día). Cada auto usa una

batería. La empresa tiene en promedio 8 000 baterías en el inventario de materias primas en la planta como amortiguador. Tarea: Halle el número total de baterías en la planta en promedio (en trabajo en proceso en la planta y en el inventario de materias primas). ¿Cuánto valen estas baterías? ¿Cuántos días de suministro se tienen en el inventario de materias primas en promedio?

Solución

Se divide lo anterior en dos inventarios: trabajo en proceso y materias primas. Para el trabajo en proceso, se halla la cantidad de inventario de trabajo en proceso mediante la aplicación directa de la ley de Little:

Inventario = Rendimiento × Tiempo de procesamiento

El rendimiento es la tasa de producción de la planta, 200 autos por turno de 8 horas, es decir, 25 autos por hora. Como cada auto lleva una batería, nuestra tasa de rendimiento es de 25 por hora. El tiempo de procesamiento es 12 horas, de modo que el trabajo en proceso es:

Inventario de trabajo en proceso = 25 baterías/hora × 12 horas = 300 baterías

Sabemos, por este problema, que hay 8 000 baterías en inventario de materias primas, de modo que la cantidad total de baterías en la línea de suministro en promedio es:

Inventario total = 8 000 + 300 = 8 300 baterías

Estas baterías valen 8 300 × $45 = $373 500.
Los días de suministro en inventario de materias primas es el "tiempo de procesamiento" de una batería en el inventario de materias primas (o el tiempo que una batería está en inventario de materias primas). Aquí necesitamos suponer que se utilizan conforme llegan. Se reacomoda la fórmula de la ley de Little:

Tiempo de procesamiento = Inventario/Rendimiento

Entonces, el tiempo de procesamiento = 8 000 baterías/(200 baterías/día) = 40 días, que representa un suministro de inventario de 40 días. ●

En la siguiente sección veremos cómo se organizan los procesos de producción en ambientes diferentes. Esto depende sobre todo de los diversos productos que se fabrican y del volumen. La forma en que una empresa produce aviones es muy diferente cuando se compara con la fabricación de computadoras o de plumas fuentes.

Ejemplos de análisis de procesos

En esta sección se presentan tres ejemplos para ilustrar los conceptos descritos hasta este punto en el capítulo. Los ejemplos son comunes de los tipos de análisis que se efectúan en los negocios fabriles, servicios y logística. Recuerde que el análisis de cada ejemplo se puede aplicar en muchos contextos distintos. Sea creativo cuando aplique al problema en cuestión algo que vio en otro contexto. El primer ejemplo analiza un proceso de producción de pan. A continuación, se evalúa la operación de un restaurante. Por último, se presenta una operación logística habitual.

OPERACIÓN DE UNA PANIFICADORA[2]

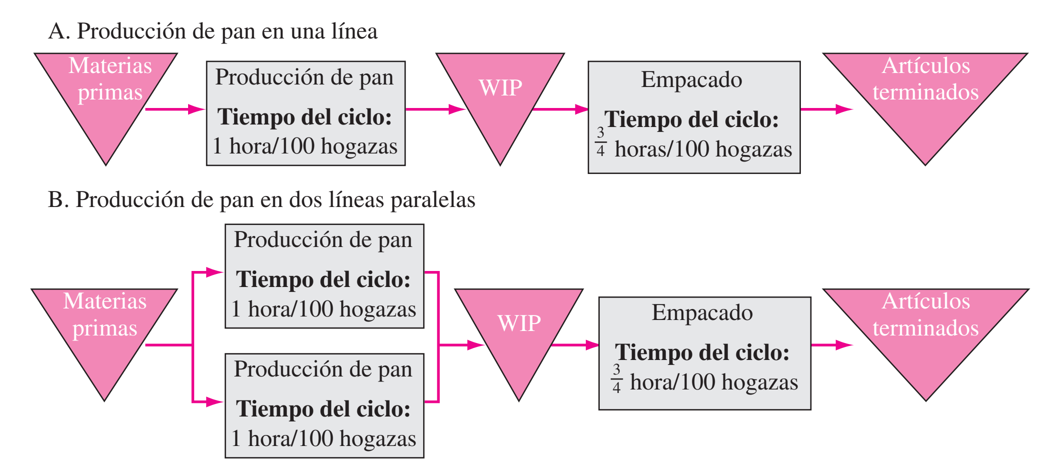
Paso por paso

EJEMPLO 5.2: Producción de pan

Para el gerente de una panificadora, la prioridad es comprender los productos que se fabrican y los pasos que requiere el proceso. La ilustración 5.5*A* es un diagrama simplificado del proceso para producir pan. Se requieren dos pasos para hacer pan. El primero es preparar la masa y hornear las hogazas, lo que aquí se conoce como producción de pan. El segundo es empacar las hogazas. Debido al tamaño de las batidoras de la panadería, el pan se produce en lotes de 100 hogazas. El departamento de producción de pan termina un lote de 100 hogazas cada hora, lo cual es el tiempo del ciclo de la actividad. El departamento de empacado solo necesita 0.75 de hora para colocar las 100 hogazas en sus bolsas.

[2] Este ejemplo es similar al que presenta A. E. Gray en "Capacity Analysis: Sample Problems", Harvard Business School 9-696-058.

ILUSTRACIÓN 5.5 Procesos de la producción de pan.



A partir de lo anterior, se aprecia que la producción de pan es el cuello de botella del proceso. Un cuello de botella es la actividad de un proceso que limita la capacidad global del proceso. Por tanto, si se supone que las actividades de producción de pan y las de empaque operan la misma cantidad de tiempo cada día, entonces la panificadora tiene una capacidad de 100 hogazas por hora. Advierta que en el transcurso del día la operación de empacado estará inactiva durante periodos de un cuarto de hora, mientras se produce la siguiente serie de panes, pues el departamento de empacado ya terminó su labor con la serie anterior. Con este escenario, cabe esperar que la operación de empacado se utilice solo 75% del tiempo.

Suponga que en lugar de tener tan solo una operación para producir pan, ahora hay dos, como muestra la ilustración 5.5*B*. El tiempo del ciclo de cada operación individual productora de pan es aún una hora por 100 hogazas. El tiempo del ciclo de la operación conjunta de las dos líneas de producción de pan es de media hora. Como la operación de empacado tarda 0.75 horas para empacar 100 hogazas, la operación de empacado ahora es el cuello de botella. Si la producción y el empacado operasen la misma cantidad de horas cada día, sería preciso limitar la cantidad de pan por fabricar, pues no se cuenta con suficiente capacidad para empacarlo. No obstante, si el empacado operara durante tres turnos de ocho horas y la producción de pan durante dos turnos cada día, la capacidad diaria de cada operación sería idéntica: 3 200 hogazas al día (se supone que la operación de empacado inicia una hora después de la operación de producción de pan). Hacer esto requiere crear inventario para un turno cada día en forma de trabajo en proceso; este se empacaría durante el tercer turno. Así, ¿cuál es el tiempo de procesamiento de la panificadora?

Solución

El cálculo en la operación inicial, con un solo proceso para la producción de pan, es fácil porque no se crearía inventario entre el proceso de producción de pan y el de empacado. En este caso, el tiempo de procesamiento sería de 1.75 horas. Sin embargo, cuando se maneja la operación de empacado con tres turnos, es preciso considerar la espera promedio en el inventario de trabajo en proceso. Si las dos operaciones para producir pan empiezan al mismo tiempo, entonces al término de la primera hora las primeras 100 hogazas pasan de inmediato a empacado, mientras que las segundas 100 hogazas quedan en espera. El tiempo de espera de cada lote de 100 hogazas se incrementa hasta terminar el horneado al final del segundo turno.

En este caso, el tiempo que el pan está en espera, en trabajo en proceso, se estima con la ley de Little. Para aplicar esta ley se necesita calcular el promedio del trabajo en proceso entre producción y empacado. En los primeros dos turnos el inventario crece de 0 a 1 200 hogazas. Se calcula que el promedio del trabajo en proceso de este periodo de 16 horas es de 600 hogazas (la mitad del máximo). Con el último turno de ocho horas, el inventario baja del máximo de 1 200 hogazas a 0. De nuevo, el promedio del trabajo en proceso es de 600 hogazas. Por lo anterior, el promedio general del periodo de 24 horas es simplemente 600 hogazas de pan. El proceso de empacado limita el tiempo del ciclo del proceso a 0.75 horas por 100 hogazas (suponga que las hogazas se empacan en un lote), y esto equivale a una tasa de rendimiento de 133.3 hogazas/hora (100/0.75 =133.3). La ley de Little calcula que el tiempo promedio de las hogazas en trabajo en proceso es de 4.5 horas (600 hogazas/133.3 hogazas/hora).

El tiempo total de procesamiento es el tiempo que las hogazas están en trabajo en proceso más el tiempo de las operaciones para los procesos de producción de pan y de empacado. Así, el tiempo total de procesamiento es de 6.25 horas (1 hora para producción del pan + 4.5 horas en inventario + 0.75 de hora para empacado). ●

OPERACIÓN DE UN RESTAURANTE

Servicio

Paso por paso

EJEMPLO 5.3: Un restaurante

La panificadora opera en *estado constante*, como se llama a la operación que inicia y marcha con un ritmo constante durante todo el tiempo que opera. La producción de este proceso en estado constante se ajusta al establecer la cantidad de tiempo que funciona la operación. En el caso de la panificadora se supuso que la producción de pan trabajaba tres turnos y el empacado dos turnos.

Un restaurante no se maneja así. El restaurante debe responder a una demanda de clientes que varía durante el día. A la hora pico, tal vez sea imposible servir a todos los comensales de inmediato y algunos tal vez tengan que esperar para conseguir mesa. El restaurante, por esta demanda variable, es un proceso que no *trabaja en estado constante*. Recuerde que muchos platillos del menú del restaurante pueden estar ya preparados. Los platillos preparados previamente, las ensaladas y los postres, por ejemplo, ayudan a acelerar los procesos que se deben efectuar cuando se atiende a los comensales.

Piense en el restaurante del casino mencionado antes. Como es importante atender a los clientes con rapidez, los gerentes montaron un buffet, en el cual los clientes se sirven solos. El buffet se rellena constantemente con alimentos frescos. Para acelerar más el servicio se cobra un monto fijo por persona, sin importar su consumo. Suponga que el buffet se diseña de modo que el cliente tarde en promedio 30 minutos en servirse y comer. Es más, suponga que por lo general los clientes comen en grupos (o grupos de comensales) de dos o tres en una misma mesa. El restaurante tiene 40 mesas. Cada mesa es para cuatro personas. ¿Cuál es la capacidad máxima de este restaurante?

Solución

No es difícil saber que el restaurante tiene lugar para 160 personas sentadas en las mesas a la vez. De hecho, en esta situación, tal vez sería más aconsejable medir la capacidad en términos de grupos de comensales, porque así es como se utiliza la capacidad. Si el grupo promedio de comensales es de 2.5 individuos, entonces la utilización promedio de los asientos es de 62.5% (2.5 sillas/grupo ÷ 4 sillas/mesa) cuando el restaurante opera a su capacidad. El tiempo del ciclo del restaurante, cuando funciona a su capacidad, es de 0.75 minutos (30 minutos/mesa ÷ 40 mesas). Así, una mesa estaría disponible cada 45 segundos. El restaurante puede manejar 80 grupos de comensales por hora (60 minutos ÷ 0.75 de minuto/grupo).

El problema de este restaurante es que todo mundo quiere comer a la misma hora. La gerencia recopiló datos y espera que los grupos de comensales que llegan a la hora del almuerzo, de 11:30 a.m. a 1:30 p.m., tengan el siguiente perfil. Se admiten clientes solo hasta la 1:00 p.m.

Tiempo	Grupos que llegan
11:30-11:45	15
11:45-12:00	35
12:00-12:15	30
12:15-12:30	15
12:30-12:45	10
12:45-1:00	5
Total de grupos	110

Como el restaurante opera durante dos horas para el almuerzo y la capacidad es de 80 grupos de comensales por hora, al parecer no tiene problema alguno. Sin embargo, en la práctica existe un problema debido al flujo asimétrico de la llegada de los comensales. Una forma simple de analizar la situación consiste en calcular cómo se espera que luzca el sistema en términos del número de comensales que se atiende y el número de la lista de espera al término de cada intervalo de 15 minutos. Piense como si tomara una foto del restaurante cada 15 minutos.

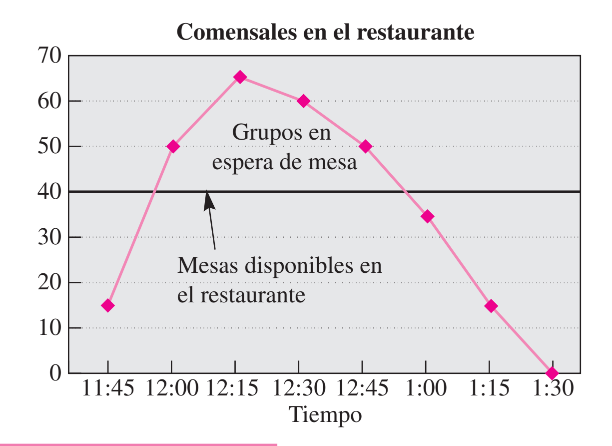
La clave para comprender el análisis radica en considerar los números acumulados. La diferencia entre las llegadas acumuladas y las partidas acumuladas da el número de grupos de comensales en el restaurante (los sentados a las mesas y los que esperan). Como solo hay 40 mesas, cuando la diferencia acumulada durante un intervalo es mayor que 40, se forma una línea de espera. Cuando las 40 mesas están ocupadas, el sistema opera a su capacidad y, con base en el cálculo anterior, se sabe que el tiempo del ciclo del restaurante entero es de 45 segundos por grupo de comensales a esta hora (esto significa que en promedio una mesa se

desocupa cada 45 segundos, o 20 mesas se desocupan en cada intervalo de 15 minutos). El último grupo tendrá que esperar a que todos los grupos que llegaron antes consigan una mesa, por lo cual se supone que el tiempo de espera es el número de los grupos que están en la línea multiplicado por el tiempo del ciclo.

Periodo	Grupos que llegan durante el periodo (acumulado)	Grupos que salen durante el periodo (acumulado)	Grupos en las mesas o en espera (al final del periodo)	Mesas ocupadas (al final del periodo)	Grupos de comensales en espera (al final del periodo)	Tiempo de espera supuesto (al final del periodo)
11:30-11:45	15	0	15	15		
11:45-12:00	35(50)	0	50	40	10	7.5 minutos
12:00-12:15	30(80)	15	65	40	25	18.75 minutos
12:15-12:30	15(95)	20(35)	60	40	20	15 minutos
12:30-12:45	10(105)	20(55)	50	40	10	7.5 minutos
12:45-1:00	5(110)	20(75)	35	35		
1:00-1:30	0(110)	35(110)				

El análisis muestra que, a las 12 del mediodía, 10 grupos de comensales están en espera. Esta línea asciende a 25 grupos a las 12:15. La línea de espera se reduce a solo 10 grupos hacia las 12:45.

Por tanto, ¿qué se puede hacer para resolver el problema de la línea de espera? Una idea sería abreviar el tiempo del ciclo de una sola mesa, pero es poco probable que los comensales coman apresuradamente sus alimentos en menos de 30 minutos. Otra idea sería añadir mesas. Si el restaurante pudiera añadir 25 mesas, entonces no habría espera. Por supuesto que esto se comería el espacio utilizado para las máquinas tragamonedas, por lo que esta opción no sería atractiva para la gerencia del casino. Una última idea sería duplicar los grupos en las mesas, para obtener una utilización mayor de las plazas. Duplicar sería el intento más fácil. Si se duplicaran 25 de 40 mesas, el problema se resolvería. ●



Planeación de la operación de un autobús

EJEMPLO 5.4: Operación de un autobús

Este ejemplo final implica un sistema de *logística*. El término *logística* se refiere al movimiento de cosas como materiales, personas o productos terminados. El ejemplo implica una ruta de autobús habitual en una universidad o una zona urbana. Con un análisis similar se pueden analizar rutas aéreas, de camiones de carga o barcos. Igual que en el restaurante, la ruta del tránsito del autobús no permite operar en estado constante. Existen picos definitivos en la demanda durante el día y la tarde. Un buen enfoque, al igual que con el restaurante, es analizar periodos claros que representen los diferentes tipos de patrones de demanda impuestos al servicio. Estos análisis claros se llaman *escenarios*. Según la situación, puede ser razonable desarrollar una sola solución que cubra todos los escenarios relevantes o un conjunto de soluciones para los diferentes escenarios.

Servicio

Paso por paso

Global

Una ruta de autobús es el Balabus, o el autobús turístico de París. Esta ruta circular recorre todos los atractivos importantes de París. Algunos puntos de interés de la ruta son Notre-Dame, Louvre, Concorde, Champs Elysées, Arco del Triunfo, Torre Eiffel y otros más.

Piense en el problema de planear el número de autobuses que se necesitan para cubrir esta ruta. Es preciso considerar una serie de factores. Suponga que un solo autobús tarda justo dos horas en recorrer la ruta entera durante el tráfico pico. La empresa de autobuses diseñó demoras en la ruta, de modo que, aunque el tráfico sea pesado, el autobús llegue de acuerdo con el horario. La ruta tiene 60 paradas, pero solo se detiene si los pasajeros del autobús lo solicitan o el conductor observa que hay personas en la parada para subir al autobús. Cada autobús tiene capacidad para 50 pasajeros sentados y otros 30 de pie. Esta ruta está muy ocupada la mayor parte del día porque las personas que visitan la ciudad suelen empezar temprano a visitar estos sitios y seguir hasta la noche. Por último, la autoridad de tránsito quiere brindar un buen servicio y tener la suficiente capacidad para manejar cargas de clientes en horas pico. A continuación se presenta un análisis de la situación.

Solución

Una medida clave del servicio es el tiempo que un pasajero debe esperar para que llegue el autobús. Para empezar, piense en el caso de un solo autobús que cubre la ruta. Si una persona llega a una parada de autobús a una hora aleatoria, se sabe que el tiempo máximo que debe esperar es de dos horas. En este caso se supone que el autobús es capaz de cubrir la ruta exactamente en dos horas. Si existe una variación sustantiva en este tiempo del ciclo, entonces el tiempo de espera aumenta. En el capítulo 7A se explican las repercusiones de las variaciones. Así sucede cuando un desafortunado pasajero acaba de perder el autobús. Si el autobús estuviera a medio camino de la ruta (en relación con el punto de espera), entonces el aspirante a pasajero tendrá que esperar una hora. Con esta lógica se puede estimar que el tiempo promedio de espera para el cliente será de una hora. En general, se puede decir que el tiempo promedio de espera sería la mitad del tiempo del ciclo del proceso. Si se utilizan dos autobuses, el ciclo del tiempo es una hora y la espera promedio es de 30 minutos. Si se desea que la espera promedio sea de dos minutos, entonces el tiempo del ciclo requerido será de cuatro minutos, y se necesitarán 30 autobuses (120 minutos ÷ 4 minutos/autobús = 30 autobuses).

El siguiente asunto se refiere a la capacidad del sistema. Si se tienen 30 autobuses en la ruta y cada uno tiene asientos para 50 pasajeros y otros 30 de pie, se sabe que es posible acomodar a 1 500 sentados o un total de 2 400 pasajeros en un momento dado.

Suponga que la tabla siguiente es un cálculo del número de pasajeros que recorren la ruta durante un día normal de la temporada turística. La tabla presenta los cálculos de la cantidad de capacidad que se requiere de los autobuses durante cada hora. Si un pasajero viaja en el autobús durante 45 minutos, entonces se necesitará un asiento durante 45 minutos, o 0.75 de hora, para atenderlo. Desde luego, por cada asiento que existe, hay disponibles 60 minutos, o una hora completa de capacidad. En la utilización máxima de cada autobús, inclusive con gente de pie, puede manejar una carga de 80 pasajeros-hora. Si se divide la carga de pasajeros esperada durante la hora entre la carga máxima de un solo autobús, se calcula el número mínimo de autobuses que se necesitan. Por otro lado, si se divide la carga esperada de pasajeros entre el número de asientos de cada autobús, se calcula el número de autobuses que se necesitan para que todos los pasajeros vayan sentados.

Hora	Cantidad de pasajeros	Tiempo promedio en el autobús	Carga (horas-pasajero)	Cantidad mínima de autobuses necesaria	Autobuses necesarios para que todos los pasajeros viajen sentados
8:00-9:00 a.m.	2 000	45 minutos	1 500	18.75	30
9:00-10:00 a.m.	4 000	30 minutos	2 000	25	40
10:00-11:00 a.m.	6 000	30 minutos	3 000	37.5	60
11:00 a.m.-12:00 medio día	5 000	30 minutos	2 500	31.25	50
12:00-1:00 p.m.	4 000	30 minutos	2 000	25	40
1:00-2:00 p.m.	3 500	30 minutos	1 750	21.875	35
2:00-3:00 p.m.	3 000	45 minutos	2 250	28.125	45
3:00-4:00 p.m.	3 000	45 minutos	2 250	28.125	45
4:00-5:00 p.m.	3 000	45 minutos	2 250	28.125	45
5:00-6:00 p.m.	4 000	45 minutos	3 000	37.5	60
6:00-7:00 p.m.	3 000	45 minutos	2 250	28.125	45
7:00-8:00 p.m.	1 500	45 minutos	1 125	14.0625	22.5
Totales	42 000		25 875		

A partir del análisis, si las autoridades de tránsito de París usan solo 30 autobuses durante el día, muchas personas tendrán que viajar de pie. Además, durante el movimiento fuerte, en la mañana entre 10 y 11 a.m. y en la tarde entre 5 y 6 p.m., no todos los clientes tendrán acomodo. Sería razonable emplear un mínimo de 40 autobuses entre las 9 a.m. y las 7 p.m. Incluso con este número de autobuses, cabe esperar que los pasajeros vayan de pie la mayor parte del tiempo.

Si la autoridad de tránsito decide utilizar 40 autobuses en un horario de 8 a.m. a 8 p.m., ¿cuál sería la utilización promedio de los autobuses en términos de asientos ocupados? En este periodo de 12 horas, habría una capacidad disponible de 24 000 asientos-hora (40 autobuses × 12 horas × 50 asientos/autobús). La tabla muestra que se necesitan 25 875 asientos-hora. La utilización sería de 107.8% (25 875/24 000 × 100). Esto significa que, en promedio, 7.8% de los pasajeros debe ir de pie. Desde luego, este valor promedio subestima en gran medida el grave problema de capacidad que se presenta durante las horas pico del día. ●

Piense en el ejemplo anterior y la utilidad que representa para la autoridad de tránsito de París. Para efectuar el análisis se recopilan datos de cada día de la semana. Se evalúan preguntas interesantes respecto del diseño de la ruta o la capacidad de los autobuses. Piense, por ejemplo, ¿qué sucedería si la ruta se dividiera en dos? ¿Qué pasaría si se pusieran en servicio autobuses más grandes, con cupo para 120 pasajeros? El análisis se puede extender de modo que incluya el costo de brindar el servicio si se consideran los salarios de los operadores, el costo de mantener y operar el vehículo, y su depreciación. Como muestra el ejemplo anterior, el diseño de un sistema de tránsito implica un equilibrio entre la comodidad del servicio y la frecuencia con que los autobuses llegan a cada parada, y la utilización de la capacidad de los autobuses.

Reducción del tiempo de procesamiento

Los procesos críticos están sujetos a la conocida regla que dice que el tiempo es oro. Por ejemplo, cuanto más tiempo espere un cliente, tanto más probable será que opte por acudir a otro lugar. Cuanto más tiempo se tenga material en inventario, tanto más alto será el costo de la inversión. Existen unas cuantas excepciones en los servicios, donde una mayor cantidad de tiempo en el proceso genera más dinero. Vea el recuadro "La eficiencia cumple con las metas corporativas. Una historia de amor".

Por desgracia, los procesos críticos suelen depender de recursos limitados específicos, lo que provoca cuellos de botella. El tiempo de procesamiento en ocasiones se puede disminuir sin comprar equipamiento adicional. A continuación se presentan algunas sugerencias para reducir el tiempo de ejecución de un proceso que no requiere adquirir nuevo equipamiento. Con frecuencia, lo conveniente es una combinación de ideas.[3]

1. **Desempeñe actividades en forma paralela.** La mayor parte de los pasos del proceso de una operación se desempeña en secuencia. El enfoque en serie da por resultado que el tiempo de ejecución del proceso entero sea la suma de los pasos individuales más el transporte y el tiempo de espera entre pasos. Un enfoque paralelo disminuye el tiempo de procesamiento hasta 80% y genera un mejor resultado.

   Un ejemplo clásico es el desarrollo de productos, en cuyo caso la tendencia actual es la ingeniería concurrente. En lugar de crear un concepto, hacer esquemas, preparar una lista de materiales y hacer un diagrama de los procesos, todas las actividades las realizan en forma paralela equipos integrados. El tiempo de desarrollo disminuye enormemente y las necesidades de todos los involucrados se abordan durante el proceso de desarrollo.
2. **Cambie la secuencia de las actividades.** Los documentos y productos muchas veces se transportan a las máquinas, a los departamentos, a los edificios y demás, y después se llevan de regreso. Por ejemplo, un documento va y viene entre dos oficinas varias veces para su lectura y firma. Si se modifica la secuencia de algunas de estas actividades, el documento puede ser objeto de un mayor procesamiento desde que llega a un edificio por primera vez.
3. **Disminuya interrupciones.** Muchos procesos se efectúan con intervalos relativamente largos entre actividades. Por ejemplo, las órdenes de compra tal vez solo se giren cada tercer día. Así, las personas que preparan los reportes que derivan en órdenes de compra deben tener presentes las fechas límite para cumplirlas, porque si se mejoran los tiempos de estos procesos se ahorran muchos días de procesamiento.

Para ilustrar estas ideas, piense en un fabricante de aparatos electrónicos que recibe quejas de los clientes porque el tiempo de espera de los pedidos es de hasta 29 días. Una evaluación del sistema de procesamiento de los pedidos reveló la existencia de 12 casos en los cuales los gerentes debían autorizar el trabajo de los empleados. Se decidió que las primeras 10 autorizaciones no eran necesarias. Esto ahorró un promedio de siete u ocho días en el procesamiento de los pedidos.

Muchos subsistemas entorpecían el proceso, y cada uno de ellos desempeñaba las mismas actividades u otras similares. Lo lógico era eliminar la redundancia, para lo cual se creó una gráfica detallada de los flujos del proceso. Al ver las cosas de cerca, se observó que 16 pasos eran

[3] B. Andersen, "Process Cycle Time Reduction", *Quality Progress*, julio de 1999, p. 120. También encontrará algunos lineamientos adicionales para mejorar el proceso en el capítulo 17.

La eficiencia cumple con las metas corporativas. Una historia de amor

Por mi falta de paciencia, di a luz una bella idea para mejorar el proceso de un café de la localidad. Se me ocurrió cuando estaba ante jóvenes que servían café y tenían las pupilas del tamaño de bolas de boliche debido al elevado octanaje del café java que llevaban bebiendo seis horas seguidas.

La idea para perfeccionar el proceso era mejorar la eficiencia para proporcionar más valor a sus clientes. Es decir, en términos de cafeteros, acortar el tiempo de espera, reducir la fila y servir el café más rápido.

El problema: ¿Por qué las personas que beben café negro se forman en la misma fila que las que piden un *frapuccino latte* doble con canela, que tarda una eternidad en prepararse?

Idea: Asignar una fila a la gente que pide café negro. Sencilla pero brillante.

Así, armado de buenas intenciones y con un dejo de hacer lo correcto, me dirigí al hombre de espíritu emprendedor disfrazado de dueño de cafetería, pedí mi café negro y le solté mi idea.

Al observar cómo se retorcía, me quedó claro que había subestimado mi pasión por el proceso. Mientras colocaba los granos, el café preparado y los dólares en sus correspondientes receptáculos, pensé: él bien pudo haber sido una encantadora bailarina. Además, sabía *exactamente* lo que hacía.

"Señor analista de procesos —me dijo—, la meta de mi negocio es ganar dinero. La pausa embarazosa que transcurre antes de servirles su café permite que los clientes se asomen a la vitrina atractivamente repleta de pastelillos, y ahí deciden que quieren un café *y* una galleta".

Sus palabras me asombraron, pues no había escuchado nada tan poético desde que Mohamed Alí estuvo en sus años de gloria, cuando también me asombró su lógica perfecta y su eficaz proceso. De hecho, era algo muy bello. Nos abrazamos y devoré una rebanada de pastel del tamaño de un gato.

Por tanto, asesores, administradores, analistas de procesos y benefactores en general, tomen nota. El proceso más eficiente no siempre cumple las metas corporativas, y, por lo mismo, es imperativo alinear el proceso y la meta. Además, aprendan a apreciar el proceso que se desenvuelve ante ustedes y la gente de negocios que lo diseñó. Ellos (quienes sean) casi siempre conocen muy bien su tema. Por ello, es esencial que *escuchen* y *aprendan* de estos expertos en la materia antes de abrir la boca y proponer posibles tonterías para modificar el proceso.

Fuente: Adaptado de "Efficiency Meets Corporate Goals: A Love Story", anónimo, publicado el 21 de julio de 2006 en www.pavilion.com

muy semejantes. Con solo cambiar la secuencia de las actividades y crear un único documento para los pedidos, el cual usara toda la empresa, se eliminaron 13 de esos pasos.

En cuatro meses se rediseñó todo el sistema de pedidos de modo que la información solo se anotara una vez y quedara a disposición de toda la organización. Gracias a este ajuste fue posible manejar las actividades en forma paralela. Después del análisis del valor agregado (dirigido a eliminar las actividades que no agregaban valor), el fabricante logró disminuir el tiempo de espera de los pedidos de los clientes de 29 días a nueve, lo cual ahorró costos y tiempo de empleados por pedido, e incrementó la satisfacción del cliente.

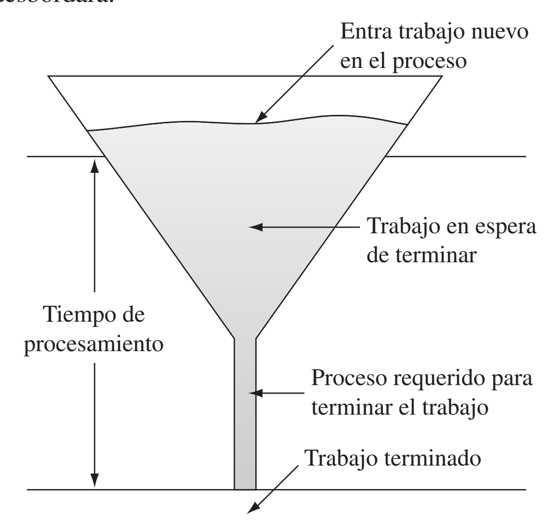
Resumen

El análisis de procesos es una habilidad básica necesaria para comprender cómo opera un negocio. El solo trazo de un diagrama de flujo, que muestre el tránsito de los materiales o la información en la empresa, ofrece muchos datos. El diagrama debe incluir todos los elementos de las operaciones y cómo embonan entre ellos. No olvide indicar dónde se guarda el material o dónde forman la fila los pedidos. Muchas veces, 90% o más del tiempo que se requiere para servir a un cliente transcurre en la simple espera. Por tanto, con solo eliminar el tiempo de espera se mejora en gran medida el desempeño del proceso.

Recuerde este concepto fundamental cuando analice un proceso: todo lo que entra en el proceso debe salir de él. Un proceso visto en su conjunto es como el embudo de la ilustración 5.6. La salida del embudo restringe el flujo de la cantidad que sale. En un proceso real de negocios, ciertos recursos limitan la producción. Si se vierte líquido en el embudo con mayor velocidad de la que sale, el nivel del embudo sube. A medida que el nivel del líquido suba en el embudo, aumenta el tiempo que tarda en fluir por él. Si se vierte demasiado líquido en el embudo, rebasa el borde y se derrama sin llegar a fluir jamás.

Lo mismo ocurre con un proceso real. Si se incluyen demasiados puestos en el proceso, se incrementa el tiempo que tarda terminar una actividad, pues también aumenta el tiempo de espera. En algún punto, los clientes se irán a otra parte y se pierde el negocio. Cuando un proceso opera a su capacidad, el único camino para aceptar un pedido más sin incrementar el tiempo de espera es añadir más capacidad. Para ello, se requiere detectar la actividad que limita la producción del proceso e incrementar la capacidad de esa actividad. En esencia, es necesario agrandar el tubo de salida del embudo.

ILUSTRACIÓN 5.6
Todo lo que entra en un proceso debe salir de él. El índice de entrada debe ser inferior o igual al índice de producción, pues de lo contrario el sistema se desbordará.



Conceptos clave

Proceso Todo conjunto de actividades en una empresa que toma insumos y los transforma en productos, los cuales, en un plano ideal, representan mayor valor para ella que los insumos originales.

Tiempo del ciclo Tiempo promedio entre el término de una unidad y otras sucesivas dentro de un proceso (definición en este libro). A veces, el término se entiende como el tiempo entre el inicio de un trabajo y su término.

Utilización Proporción de tiempo que un recurso en realidad está activado en relación con el tiempo disponible para su uso.

Amortiguamiento Área de almacenamiento entre etapas, en la cual se coloca el producto de una etapa antes de que pase a una etapa posterior. La amortiguación permite que las etapas operen de modo independiente.

Bloqueo Cuando las actividades de la etapa se deben detener porque el artículo recién terminado no se puede depositar en ningún lugar.

Ocio Cuando las actividades de una etapa se deben detener porque no hay trabajo.

Cuello de botella Recurso que limita la capacidad o la producción máxima del proceso.

Fabricar por pedido Proceso que solo se activa en respuesta a un pedido colocado en firme.

Fabricar para existencias Proceso que genera productos estándar que se almacenan en el inventario de bienes terminados. El producto se entrega con rapidez al cliente tomándolo de ese inventario.

Procesos híbridos Combina las características de fabricar por pedido y para existencias. Por lo general, se elabora un producto genérico y se almacena en algún punto del proceso. Estas unidades genéricas se someten a un proceso final para terminarlas a la medida de los pedidos.

Cadencia Cuando el movimiento de los artículos que pasan por un proceso se coordina por medio de un mecanismo que marca tiempos. La mayoría de los procesos no se sujeta a pasos rítmicos, pero las líneas de montajes sí suelen tenerlos.

Productividad Proporción entre productos e insumos. Si se toma el valor en dólares del producto y se divide entre el valor en dólares de los insumos, se mide la productividad total de los factores. Por otro lado, la *productividad parcial de los factores* se mide con base en un insumo individual y rara vez se calcula con valores en dólares (un ejemplo sería unidades/persona).

Eficiencia Proporción del producto real de un proceso en relación con algún parámetro.

Tiempo de la corrida Tiempo requerido para producir un lote de piezas.

Tiempo de preparación Tiempo requerido para preparar una máquina a efecto de fabricar un artículo particular.

Tiempo de operación Suma del tiempo de preparación y del tiempo de la corrida para un lote de piezas que pasan por una máquina.

Tiempo de procesamiento Tiempo promedio que una unidad tarda en pasar por el proceso entero. Por lo general, el término tiempo de espera designa el tiempo total que debe transcurrir para que el cliente reciba su pedido (incluye el tiempo para procesar la orden, el de procesamiento y el de entrega).

Tasa de rendimiento Índice de producto que se espera que produzca el proceso en un periodo.

Velocidad del proceso o proporción del procesamiento Proporción entre el tiempo total del procesamiento y el tiempo de valor agregado.

Tiempo de valor agregado Tiempo que transcurre mientras en realidad se trabaja con utilidad en una unidad.

Valor total promedio de inventario Inversión total promedio en materias primas, trabajo en proceso e inventario de artículos terminados. Se valúa al costo para la empresa.

Rotación de inventario Costo de artículos vendidos dividido entre el valor total promedio de inventario.

Días de suministro Número de días de inventario de un artículo. Si un artículo no se repone, esto sería el número de días hasta que a la empresa se le agote el artículo (en promedio). También, es la inversa de la rotación de inventario expresada en días.

Ley de Little Plantea una relación matemática entre la tasa de procesamiento, el tiempo de procesamiento y la cantidad de trabajo en proceso en el inventario. El tiempo de procesamiento es igual al trabajo en proceso dividido entre la tasa de procesamiento.

Revisión de fórmula

Ley de Little

$$\textit{Inventario} = \textit{Tasa de procesamiento} \times \textit{Tiempo de procesamiento} \quad (5.1)$$

Problemas resueltos

Problema resuelto 1

Suponga que programamos envíos a nuestros clientes de modo que esperamos que cada envío espere dos días en el inventario de artículos terminados (en esencia agregamos dos días a cuando esperamos hacer el envío). Hacemos esto como protección contra la variabilidad del sistema para asegurar un excelente servicio de entrega a tiempo. Si enviamos más o menos 2 000 unidades por día, ¿cuántas unidades esperamos tener en inventario de artículos terminados por permitir este tiempo adicional? Si el artículo está valuado en $4.50 cada uno, ¿cuál es el valor esperado de este inventario?

Solución

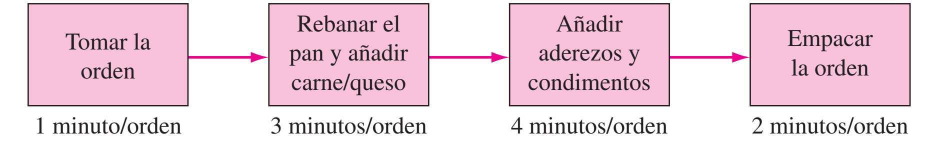
Según la ley de Little, el inventario de artículos terminados esperado es:

Inventario = 2 000 unidades por día × 2 días = 4 000 unidades

Esto estaría valuado en 4 000 unidades × $4.50 por unidad = $18 000

Problema resuelto 2

Sub Shop de Daffy Dave elabora por pedido unos sándwiches llamados submarinos. Daffy Dave analiza el proceso del negocio. A continuación se presenta el flujo general del proceso. En cada paso del proceso trabaja una sola persona.



Daffy Dave quiere conocer los siguientes datos sobre una jornada normal de 8 horas:

a) ¿Cuál es la producción máxima actual del proceso?
b) Si se agrega una persona, ¿en qué paso debería hacerse, y cuál sería el beneficio?
c) ¿Pasar un minuto de la actividad de rebanar el pan y añadir la carne a tomar la orden traería algún beneficio? Suponga que no se efectúa el cambio del inciso *b*).
d) ¿Pasar un minuto de la actividad de condimentar a empacar traería algún beneficio? Suponga que no efectúan los cambios de los incisos *b*) y *c*).

Solución

a) La producción máxima es de 120 submarinos por día.

Operación	Producción
Tomar la orden	(60 min. por hora/1 min. por orden) * 8 horas = 480 submarinos por día
Pan y carne	(60 min. por hora/3 min. por orden) * 8 horas = 160 submarinos por día
Aderezos/condimentos	(60 min. por hora/4 min. por orden) * 8 horas = 120 submarinos por día
Empacar la orden	(60 min. por hora/2 min. por orden) * 8 horas = 240 submarinos por día

La estación más lenta determina la producción por día y, por tanto, solo es posible producir 120 por día porque es el límite de la estación de Aderezos/condimentos.

b) Dave debe agregar una persona a la estación más lenta (Aderezos/condimentos) porque es el cuello de botella.

Operación	Producción
Tomar la orden	480 submarinos por día
Pan y carne	160 submarinos por día
Aderezos/condimentos	120 * 2 = 240 submarinos por día
Empacar la orden	240 submarinos por día

El efecto no es muy grande. Si bien la estación de Aderezos/condimentos ahora produce 240 submarinos por día, la estación de Pan y carne sólo produce 160, por lo cual esa será la producción máxima.

c) La estación de Tomar la orden pasa de 1 minuto a 2 minutos, y la de Pan y carne baja de 3 minutos a 2 minutos.

Operación	Producción
Tomar la orden	(60 min por hora/2 min por orden) * 8 horas = 240 submarinos por día
Pan y carne	(60 min por hora/2 min por orden) * 8 horas = 240 submarinos por día
Aderezos/condimentos	(60 min por hora/4 min por orden) * 8 horas = 120 submarinos por día
Empacar la orden	(60 min por hora/2 min por orden) * 8 horas = 240 submarinos por día

Este cambio no genera ningún beneficio. Dave solo produce los mismos 120 submarinos al día, pues solo produce 120 por día porque ese es el límite de la estación de Aderezos/condimentos.

d) La estación de Aderezos/condimentos baja de 4 a 3 minutos y la de Empacar sube de 2 a 3 minutos.

Operación	Producción
Tomar la orden	(60 min por hora/1 min por orden) * 8 horas = 480 submarinos por día
Pan y carne	(60 min por hora/3 min por orden) * 8 horas = 160 submarinos por día
Aderezos/condimentos	(60 min por hora/3 min por orden) * 8 horas = 160 submarinos por día
Empacar la orden	(60 min por hora/3 min por orden) * 8 horas = 160 submarinos por día

Este cambio sí genera un beneficio. Dave ahora produce 160 submarinos por día. Esto permite el mismo beneficio que contratar a otro trabajador. No obstante, si Dave quiere incrementar más su producción, debe contratar a personal adicional.

Preguntas de repaso y análisis

1. Compare el proceso nuevo y el antiguo de McDonald's para producir hamburguesas. ¿Cuán válida es la afirmación de McDonald's de que el nuevo proceso produce hamburguesas más frescas para el cliente? Al comparar el proceso actual de McDonald's con los de Burger King y Wendy's, ¿cuál parece producir las hamburguesas más frescas?
2. Explique con sus propias palabras lo que significa la ley de Little. Mencione un ejemplo que haya observado en el cual se aplique la ley de Little.
3. Explique por qué tener un inventario más grande de trabajo en proceso puede mejorar la eficiencia de un proceso. ¿Por qué puede ser malo tenerlo?
4. Desde hace poco, algunos expertos en administración de operaciones insisten en que la mera reducción de velocidad del proceso (que de hecho significa disminuir el tiempo de procesamiento de algo que pasa por el sistema) es la medida aislada más importante para mejorar un proceso. ¿Se le ocurre alguna situación en la que esto quizá no sea cierto?

Problemas[4]

1. Usted está en una fila de un banco de auto-servicio (*drive-through*) y hay 10 coches antes que el suyo. Usted estima que el empleado tarda unos 5 minutos en atender un auto. ¿Cuánto tiempo tiene que esperar en la fila?
2. Una empresa rediseñó su proceso de producción para tardar ahora 10 horas en fabricar una unidad; con el proceso antiguo, tardaba 15 horas en hacerlo. Si el proceso elabora una unidad por hora en promedio y cada unidad vale $1 500, ¿cuál es la reducción en valor del trabajo en proceso?
3. Un estudiante emprendedor estableció una bolsa de trabajo para el servicio social de estudiantes de administración. Cada estudiante que utiliza el servicio llena una forma y registra un máximo de 10 empresas con las que le gustaría tener contacto. La bolsa puede elegir uno de dos métodos para procesar las formas. El método tradicional tarda unos 20 minutos en revisar la forma y colocar la información en el orden debido para su procesamiento. Una vez preparado todo, solo se necesitan dos minutos por empresa solicitada para completar el procesamiento. La otra alternativa utiliza un sistema óptico de escaneo/recuperación que solo tarda un minuto preparar, pero cinco minutos por empresa en efectuar el procesamiento. Si el costo por minuto de procesamiento de los dos métodos cuesta prácticamente lo mismo, ¿cuándo debe usarse cada uno?
4. Rockness Recycling reacondiciona a estudiantes de administración agotados. El proceso utiliza una banda transportadora que lleva a cada estudiante por los cinco pasos del proceso en secuencia. Los cinco pasos son:

Paso	Descripción	Tiempo requerido por estudiante
1	Desempacar y colocar en cinturón	1.0 minutos
2	Deshacerse de malos hábitos	1.5 minutos
3	Tallar y limpiar la mente	0.8 minutos
4	Introducir métodos modernos	1.0 minutos
5	Pulir y empacar	1.2 minutos

Se asignó un miembro del cuerpo docente a cada uno de estos pasos. Los docentes trabajan 40 horas a la semana y rotan de puesto cada semana. El señor Rockness trabaja en un contrato con General Electric que requiere la entrega de 2 000 estudiantes reacondicionados por semana. Un representante del departamento de recursos humanos acaba de llamar para quejarse de que la empresa no ha recibido la cantidad convenida de estudiantes. Cuando el señor Rockness revisa el inventario de bienes terminados encuentra que no quedan existencias. ¿Qué ocurre?

5. Se promovió la teoría de la tina de baño para la administración de operaciones como un gran avance para la competitividad global. La fábrica es una tina con 50 galones de capacidad. El drenaje es la salida que lleva al mercado y desfoga tres galones por hora cuando está totalmente abierto. La llave es la entrada de las materias primas y deja pasar material con un ritmo de cuatro galones por hora. Ahora, para comprobar que comprendió las minucias de las operaciones (para empezar, suponga que la tina está vacía):
   a) Trace un diagrama de la fábrica y determine el ritmo máximo con que se puede atender al mercado si todas las válvulas están abiertas al máximo. ¿Qué ocurre con el sistema a la larga?
   b) Suponga que en lugar de llenar la tina con una llave se usa un botellón de cinco galones (para empezar, suponga que hay un botellón lleno junto a la tina); se necesitan dos horas para rellenar el botellón y regresarlo a la tina. ¿Qué ocurre con el sistema a la larga?
6. Una empresa local que hace investigaciones de mercado acaba de celebrar un contrato para varios miles de proyectos pequeños que implican recopilar datos y efectuar análisis estadísticos. En el pasado, la empresa asignaba cada proyecto a un profesional muy capacitado de su personal de planta. Esta persona reuniría y analizaría los datos. Con este enfoque, una persona experimentada procesa un promedio de 10 proyectos de este tipo en una jornada de ocho horas.

   La gerencia de la empresa considera la posibilidad de asignar a dos personas a cada proyecto para que se especialicen y sean más eficientes. El proceso requeriría que la persona que recopile los datos llene una matriz en la computadora, la revise y la transmita al programa de análisis estadístico para que el analista lo termine. Se pueden reunir datos para un proyecto al mismo tiempo que se realiza el análisis de otro, pero debe terminarse el análisis antes de que el programa de análisis estadístico

[4] Los autores expresan su gratitud a D. Clay Whybark de la University of North Carolina por aportar los problemas 3 a 6 y 11.

acepte nuevos datos. Tras un poco de práctica, el nuevo proceso se completa en un tiempo estándar de 20 minutos para reunir datos y 30 minutos para el análisis.

a) ¿Cuál es la producción (producto por hora) de cada opción? ¿Cuál es la productividad (producto por hora-hombre)?

b) ¿Cuánto tardaría terminar 1 000 proyectos con cada opción? ¿Cuál sería el contenido de trabajo (cantidad total de horas trabajadas) de 1 000 proyectos con estas dos opciones?

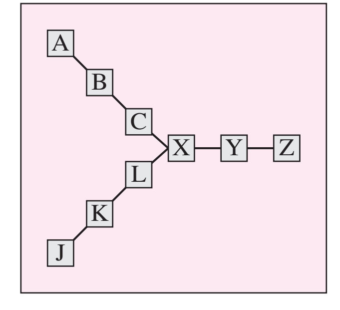
7. Un procesador fabrica dos componentes, A y B, que a continuación empaca juntos como producto final (cada producto vendido contiene un A y un B). El procesador solo produce un componente a la vez: todos A o todos B. Se necesita de tiempo de preparación para cambiar de A a B.

El plan actual es producir 100 unidades del componente A, luego 100 unidades del componente B, después 100 unidades del componente A, a continuación 100 unidades del componente B y así sucesivamente. A continuación se presentan los tiempos de preparación y de corrida de cada componente.

Componente	Tiempo de preparación/de cambio	Tiempo de la corrida/Unidad
A	5 minutos	0.2 minutos
B	10 minutos	0.1 minutos

Suponga que los dos componentes se empacan en forma enteramente automatizada y solo tarda dos segundos por unidad del producto final. Este tiempo de empacado es lo bastante breve para ignorarlo. ¿Cuál es la producción promedio por hora en términos de la cantidad de unidades de producto empacado (que incluye un componente A y un componente B)?

8. El siguiente diagrama representa un proceso para armar una silla con asiento tapizado. Las estaciones A, B y C fabrican el asiento; las estaciones J, K y L arman el marco de la silla, la estación X es donde se juntan las dos piezas, y algunas labores finales se desempeñan en las estaciones Y y Z. Cada una de las estaciones tiene un trabajador asignado. Por lo general no se guarda inventario en ningún punto del sistema, aunque hay espacio para una unidad entre cada estación y se podría usar durante un lapso breve (ilustración al lado).



Como cada estación requiere la siguiente cantidad de trabajo, expresada en segundos:

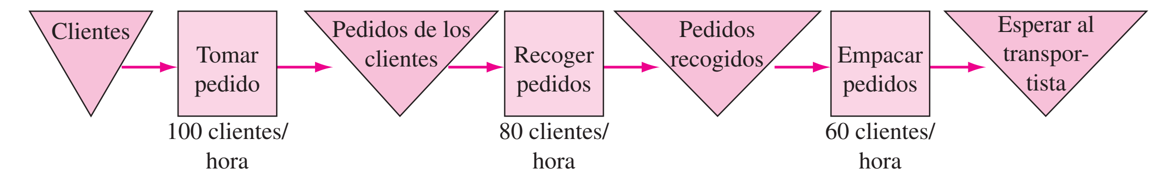
A	38	J	32	X	22
B	34	K	30	Y	18
C	35	L	34	Z	20

a) ¿Cuál es la producción diaria posible de este "proceso" si cada día se dispone de 8 horas de tiempo de procesamiento?

b) Por el índice de producción del inciso *a*), ¿cuál es la eficiencia del proceso?

c) ¿Cuál es el tiempo de procesamiento?

9. Wally's Widget Warehouse toma pedidos de 7 a.m. a 7 p.m. El gerente quiere analizar el proceso y presenta el siguiente diagrama de flujo del proceso. Se requieren tres pasos para enviar el pedido de un cliente. El primer paso es tomar el pedido; el segundo es surtirlo y, a continuación, se debe empacar el pedido para enviarlo. Wally promete que todo pedido colocado se enviará al día siguiente. Esto significa que las operaciones de surtir y de empacar deben terminar todos los pedidos antes de irse a casa.



Wally quiere saber lo siguiente:

a) ¿Cuál es la producción máxima del proceso en la actualidad, si se supone que nadie trabaja horas extra?

b) ¿Cuánto tiempo tendrán que trabajar la operación de surtido y la de empacado si se tiene una jornada en la cual la persona que toma los pedidos trabaja a su capacidad máxima?

c) En vista del inciso *b*), ¿cuál es la cantidad máxima de pedidos en espera de recogerse?

d) En vista del inciso *b*), ¿cuál es la cantidad máxima de pedidos en espera de empacarse?

e) Si se duplica la capacidad para empacar (de 60 a 120 pedidos por hora), ¿qué impacto tendrá en sus respuestas a los incisos *b*), *c*) y *d*)?

10. El National State Bank trata de garantizar que contará con cajeros suficientes para manejar la aglomeración de trabajadores que cobran el cheque de su sueldo los viernes por la tarde. Solo le preocupa la última hora de la jornada, de 4:00 a 5:00 p.m. Los cajeros tardan cinco minutos en procesar el cheque de cada cliente. La tabla siguiente muestra las llegadas promedio de los clientes.

Hora	Clientes que llegan
4:00-4:05	2
4:05-4:10	5
4:10-4:15	6
4:15-4:20	8
4:20-4:25	10
4:25-4:30	12
4:30-4:35	16
4:35-4:40	12
4:40-4:45	10
4:45-4:50	6
4:50-4:55	4
4:55-5:00	2
5:00-5:05	0
Total	93

En la actualidad, el banco tiene ocho cajas, y todas tienen cajeros los viernes por la tarde a la hora de la aglomeración.

a) En la actualidad, ¿cuál es la producción máxima del banco durante la hora de la aglomeración?
b) ¿El banco puede procesar a todos los clientes para las 5:00 p.m.?
c) ¿Cuánto es el tiempo máximo que esperan los clientes y en qué periodo ocurre esta espera?

11. I-mart es una óptica de descuento que surte casi todas las recetas más o menos en una hora. La gerencia analiza los procesos de la óptica. En la actualidad, se asignó una persona a cada una de las actividades siguientes. El optometrista asignado a la actividad "B" toma una hora para comer y los demás empleados trabajan durante una jornada corrida.

Actividad	Tiempo
A. Recibir/registrar al paciente	2 minutos/paciente
B. Optometrista hace examen de la vista	25 minutos/paciente
C. Elección de montura/lentes	20 minutos/paciente
D. Producción de lentes (el proceso maneja 6 pares de lentes al mismo tiempo)	60 minutos/paciente
E. Ajuste final	5 minutos/paciente

El gerente quiere calcular lo siguiente para una jornada minorista normal de 10 horas (10 a.m. a 8 p.m.):

a) ¿Cuál es la producción actual máxima del proceso por día (si se supone que todos los pacientes requieren lentes)?
b) Si se agregara a otra persona, ¿cuál sería el lugar lógico para hacerlo?
c) ¿Qué efecto tendría en el proceso un laboratorio de pedidos por correo (que fabrique los lentes en otro lugar y los regrese en un plazo de 5 a 7 días)?

12. El departamento de cotizaciones de una editorial de autor prepara cuatro cotizaciones por día y ahora tiene 20 cotizaciones en distintas etapas. Con la ley de Little, ¿cuántos días de espera tarda una cotización en la actualidad?

13. Una pequeña peluquería tiene un solo sillón y un área de espera en la cual solo se puede sentar una persona a la vez, pero nadie sale de ahí sin que le corten el cabello. Por tanto, el sistema es aproximadamente:

$$\textit{Entrada} \mapsto \textit{Espera} \mapsto \textit{Corte} \mapsto \textit{Salida}$$

Suponga que los clientes llegan con un ritmo de 10 por hora y permanecen ahí un promedio de 0.5 horas. ¿Cuál es el número promedio de clientes en la peluquería?

Problema avanzado

14. ¿Recuerda al señor Rockness, del problema 4? Ahora capacita a profesores universitarios. Es una labor mucho más difícil, pero aún implica cinco pasos. Se ha esforzado mucho por equilibrar la línea, pero todavía hay mucha variación. Cada etapa del proceso ahora maneja entre uno y seis profesores por hora, según la gravedad del caso. Si hay un poco de inventario disponible por cada puesto (no se preocupe por la preparación), ¿cuál es la producción esperada por hora? (Suponga que cada etapa es independiente y existe la misma probabilidad de que, cada hora, se procesen uno, dos, tres, cuatro, cinco o seis profesores en cada etapa.)[5]

Caso: Análisis de los procesos para manejar el dinero en un casino

La actividad de sacar el dinero de una máquina tragamonedas se conoce como *proceso de entrega*. Este proceso empieza cuando un agente de seguridad y el líder del proceso de entrega solicitan las llaves del gabinete de la tragamonedas al cajero del casino. Conseguir las llaves tarda aproximadamente 15 minutos. El equipo de entrega de la tragamonedas está compuesto por empleados del área de recuento de monedas, así como personal de seguridad y de contabilidad. El líder, bajo la vigilancia del agente de seguridad y una persona de contabilidad, se encarga de sacar el cubo de las monedas del interior de la máquina. Después, coloca una etiqueta con el número correspondiente a esa máquina para identificar la procedencia del cubo cuando se inicie el proceso de conteo de monedas. Sacar el cubo de la entrega requiere alrededor de 10 minutos por máquina. Una vez colocados los cubos de 20 tragamonedas sobre un carrito, el líder del equipo de la entrega, junto con el personal de seguridad y de contabilidad entregan los cubos al área de conteo de monedas. Los cubos se guardan bajo llave en dicha área, en espera de que inicie el proceso de conteo. Entregar los cubos y guardarlos con llave tarda unos 30 minutos por carrito.

El proceso de contar las monedas se inicia a una hora determinada, la cual conocen las autoridades reguladoras del juego. Lo primero que hace el equipo que cuenta las monedas es probar la báscula, que requiere 10 minutos. La báscula fija el valor en dólares, por denominación, que tiene pesos determinados de 10 y de 25 libras. Estos resultados se comparan con los de la calibración, obtenidos la última vez que la báscula recibió servicio, para comprobar si existe una variación sustantiva. Si existe, entonces el supervisor del conteo se debe poner en contacto con el contratista responsable de darle mantenimiento a la báscula y con la oficina del contralor. Si no hay una variación sustantiva, el proceso de pesar las monedas prosigue.

Después de revisar la báscula se vierte el contenido del cubo sobre el plato de la báscula. Con la información de la etiqueta de identificación, se anota en la computadora de la báscula el número de la máquina tragamonedas específica de la que proviene el cubo. La computadora está programada para convertir el peso de las monedas, por denominación, a valores específicos en dólares, los cuales se registran en el libro de los pesos, junto con el número de la máquina tragamonedas. Este proceso de pesar y registrar tarda siete minutos por cubo. Una vez que la báscula pesa el contenido del cubo de la entrega, las monedas caen automáticamente sobre una banda que las transporta a máquinas que las empaquetan. A medida que se empaquetan las monedas, los rollos de monedas caen en otra banda que los transporta a una estación donde se enlatan. Se empaquetan 25 monedas de un dólar dentro de cada rollo, con un ritmo de 10 rollos por minuto.

En la estación de enlatado, los rollos de monedas se guardan en latas de metal o de plástico, para cantidades específicas de dólares, según la denominación de la moneda. Las latas se apilan para contar las monedas envueltas con más facilidad. Las latas de monedas de un dólar tienen espacio para 1 000 dólares, o 40 rollos, y tarda cinco minutos llenarlas y apilarlas. Cuando se termina el proceso de pesar las monedas, la computadora de la báscula entrega un reporte resumido con los pesos totales por denominación. Estos totales se registran en el reporte de verificación de los pesos/envoltorios, lo cual requiere cinco minutos.

Cuando se termina la parte de envolver las monedas de la cuenta y ya se enlataron y apilaron todos los rollos, las latas se cuentan manualmente por denominación. Estos totales también se registran en el reporte de verificación de los pesos/envoltorios. A continuación se calculan las diferencias de los montos en dólares y en porcentajes de cada denominación. Las diferencias que exceden de más o menos 2%, o de 1 000 dólares o más (lo que sea menor), están sujetas a una investigación por parte del supervisor encargado de la cuenta de las monedas, quien debe escribir un reporte explicativo. Si no existe diferencia, todos los miembros del equipo del conteo firman el reporte de verificación de los pesos/envoltorios. El proceso de contar las monedas termina cuando se notifica a la ventanilla del cajero del casino que la entrega de las tragamonedas está lista para su traslado a contabilidad en la ventanilla. Contar y verificar manualmente las cuentas tarda un promedio de dos minutos por lata.

En un proceso separado del conteo descrito, un cajero de la ventanilla efectúa un conteo y una verificación independientes de los envoltorios, por denominación. Si todo cuadra, el cajero principal del banco firma el reporte de verificación de los pesos/envoltorios y acepta la entrega de las tragamonedas a contabilidad en la ventanilla. Es en este punto cuando se reconoce el verdadero ingreso bruto de lo jugado en las tragamonedas.

Preguntas

1. Trace un diagrama del proceso de entrega. ¿Cuánto tiempo tardaría vaciar 300 máquinas tragamonedas de monedas de un dólar de plata?
2. Trace un diagrama del proceso de contar las monedas. ¿Cuánto tiempo tardará terminar este proceso con las 300 tragamone-

[5] La idea de este problema se deriva de un ejercicio preparado por el doctor Eli Goldratt titulado "The Great Manufacturing Crapshoot".

das de monedas de un dólar de plata? Suponga que cuando se vacían las tragamonedas, cada una tiene un promedio de 750 monedas de un dólar.

3. El casino considera la posibilidad de comprar otra máquina para envolver monedas. ¿Qué efecto tendría en el proceso para contar las monedas? ¿Lo más deseable es comprar esta máquina?
4. ¿Cuál sería el efecto de comprar máquinas tragamonedas "electrónicas" que no usan monedas?

Caso: Kristen's Cookie Company (A)

Su compañero de cuarto y usted se preparan para iniciar el negocio de Kristen's Cookie Company en su apartamento de la universidad. La empresa ofrecerá galletas recién preparadas a los estudiantes que sienten hambre a media noche. Usted debe evaluar el diseño preliminar del proceso de producción de la compañía para calcular muchas variables, tales como: los precios que cobrará, la posibilidad de obtener una ganancia y la cantidad de pedidos que aceptará.

Concepto del negocio

Su idea es hornear galletas por pedido, con la combinación de ingredientes que el comprador desee. Las galletas estarán listas para que las recojan en su apartamento en un plazo de una hora.

Varios factores le distinguirán de productos de la competencia, como las galletas compradas en tienda. En primer lugar, sus galletas serán enteramente frescas. Usted no horneará galleta alguna antes de recibir el pedido y, por tanto, el comprador recibirá galletas literalmente calientes y recién salidas del horno.

En segundo lugar, al igual que Steve's Ice Cream,[6] usted tendrá una serie de ingredientes a la mano para añadirlos a la masa básica, como chispas de chocolate, M&Ms, chocolates Heath picados, coco, nueces y pasas. Los compradores harán sus pedidos por teléfono, especificando cuáles de estos ingredientes quieren en sus galletas. Usted garantiza productos por completo frescos. En pocas palabras, usted ofrecerá las galletas más exóticas y frescas del mundo, disponibles en el campus.

Proceso de producción

Es muy fácil hacer galletas, solo hay que mezclar los ingredientes en un procesador de alimentos, colocar la masa con una cuchara sobre una charola, introducirla al horno, esperar a que se horneen las galletas, sacar la charola del horno, dejar que se enfríen y, por último, tomarlas de la charola y guardarlas con cuidado en una caja. Su compañero de cuarto y usted ya cuentan con capital para el equipo de que necesitan: un procesador de alimentos, charolas de horno y cucharas. Su apartamento tiene un pequeño horno con cabida para una charola por vez. Su arrendador paga la electricidad. Por tanto, los costos variables son solo los correspondientes a los ingredientes (según sus cálculos, $0.60/docena), el costo de la caja donde se empacarán las galletas ($0.10 por caja; cada una para 12 galletas) y su tiempo (¿cuánto valor otorga a su tiempo?).

A continuación se presenta un análisis detallado del proceso de producción, el cual especifica el tiempo que tardará cada paso. El primer paso es tomar el pedido, y su compañero encontró la manera de hacerlo con rapidez y 100% de exactitud. (De hecho, usted y su compañero inventaron un método que aprovecha el sistema de correo electrónico de la universidad para tomar los pedidos e informar a los clientes cuándo están listos para que los recojan. Como este método opera en forma automática en su computadora personal, no requiere tiempo.) Por tanto, el análisis no toma en cuenta este paso.

Su compañero y usted asignaron tiempos a las operaciones físicas que se necesitan. El primer paso físico para la producción es lavar el tazón de la masa para quitarle residuos del lote anterior, añadir todos los ingredientes y mezclarlos con su procesador de alimentos. Los tazones tienen espacio para los ingredientes correspondientes con un máximo de tres docenas de galletas. A continuación, se coloca la masa en la charola, que tiene lugar para una docena de galletas por vez. El paso del lavado y el de mezclado requieren seis minutos, sin importar la cantidad de galletas que haga por lote. Es decir, mezclar una cantidad de masa e ingredientes suficiente para dos docenas de galletas tarda los mismos seis minutos que para una docena. No obstante, colocar la masa en la charola tarda dos minutos por charola.

El paso siguiente, que corresponde a su compañero, es colocar las charolas de galletas en el horno y fijar los números del termostato y el reloj, lo cual tarda alrededor de un minuto. Las galletas permanecerán en el horno los siguientes nueve minutos. Así, el tiempo total del horneado es de 10 minutos y, durante el primer minuto de ellos, su compañero estará ocupado preparando el horno. Como el horno solo tiene lugar para una charola, la segunda docena tardará 10 minutos más en hornearse.

Su compañero también se encarga de desempeñar los pasos finales del proceso: primero, sacar las galletas del horno y dejarlas a un lado para que se enfríen durante cinco minutos, y después guardarlas con gran cuidado en una caja y recibir el pago. Sacar las galletas del horno casi no requiere tiempo, pero se debe hacer a tiempo. Empacar cada docena tarda dos minutos, y cobrar el pedido, alrededor de un minuto.

Este es el proceso de Kristen's Cookie Company para producir docenas de galletas. Como bien saben los reposteros experimentados, se simplificó un poco el verdadero proceso para hacer galletas. Por ejemplo, el primer lote de galletas nocturnas requiere que se precaliente el horno. No obstante, por ahora, esas complejidades se dejan de lado. Para iniciar su análisis, elabore un diagrama de flujo de proceso de la fabricación de galletas.

Preguntas básicas que debe contestar antes de abrir su negocio

Para iniciar su negocio debe establecer los precios y las reglas para aceptar pedidos. Algunos asuntos solo se resolverán hasta que haya empezado e intentado distintas formas de hacer galletas. No obstante, antes de iniciar, debe tener al menos un plan preliminar, tan específico como sea posible, para calcular con cuidado la cantidad de tiempo que tendrá que dedicar a este negocio cada noche y el dinero que espera obtener. Por ejemplo, al realizar una encuesta de mercado para determinar la demanda probable, debe especificar con exactitud su política para los pedidos. Por tanto, le

[6] Steve's Ice Cream la inició un joven emprendedor en el área de Boston para ofrecer helado por pedido con distintas mezclas.

será de gran utilidad responder las preguntas siguientes respecto de las operaciones:

1. ¿Cuánto tiempo tardará en surtir un pedido urgente?
2. ¿Cuántos pedidos puede haber en una noche, si se supone que el negocio está abierto cuatro horas cada noche?
3. ¿Qué cantidad de su valioso tiempo (suyo y de su compañero) tardará surtir cada pedido?
4. Como sus charolas de horno solo tienen lugar para una docena de galletas, usted producirá y venderá galletas por docena. ¿Debe dar un descuento a quien ordene dos docenas de galletas, tres docenas o más? En tal caso, ¿qué descuento? ¿Tardará más en surtir un pedido de dos docenas de galletas que uno de una docena?
5. ¿Cuántos procesadores de alimentos y charolas de horno va a necesitar?
6. ¿Puede alterar sus planes de producción para hacer galletas mucho mejores o más galletas en menos tiempo, o con un costo más bajo? Por ejemplo, ¿existe una operación que sea el cuello de botella en su proceso de producción y que pueda expandir sin gran costo? ¿Qué efecto tiene añadir otro horno? ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por la renta de otro horno?

Problemas para reflexionar

1. ¿Qué sucedería si usted hiciera esto solo, sin su compañero de cuarto?
2. ¿Debe establecer precios especiales para los pedidos urgentes? Suponga que acaba de meter una charola de galletas al horno y alguien llama con un pedido prioritario "de urgencia" de una docena de galletas de diferente sabor. ¿Puede surtir el pedido prioritario y también el pedido que ya está en el horno? De lo contrario, ¿qué cantidad adicional debe cobrar por surtir el pedido urgente?
3. ¿En qué tiempo debe prometer la entrega? ¿Cómo puede consultar rápidamente su tablero de pedidos (lista de órdenes pendientes) y decir al cliente en qué momento estará lista su orden? ¿Qué margen de seguridad debe incluir en los tiempos?
4. ¿Qué otros factores debe considerar en esta etapa de planeación de su negocio?
5. Es preciso que su producto se haga por pedido porque cada uno es potencialmente único. En cambio, si decide vender galletas estándar, ¿cómo debe cambiar el sistema de producción? ¿Y el proceso para tomar pedidos?

Cuestionario

1. Es parte de una organización que toma insumos y los transforma en productos.
2. Es la proporción entre el tiempo que un recurso está activado y el tiempo en que está disponible para usarlo.
3. Es cuando una o más actividades se detienen por falta de trabajo.
4. Es cuando una actividad se detiene porque no hay lugar donde colocar el trabajo que acaba de completarse.
5. Es el paso más lento de un proceso en comparación con los demás pasos. Este paso limita la capacidad del proceso.
6. ¿Cuál es la diferencia entre los procesos antiguo y actual de McDonald's?
7. Es el tiempo fijo del movimiento de artículos a través de un proceso.
8. Es cuando una empresa se compara con otra respecto del desempeño de sus operaciones.
9. Es el tiempo que tarda una unidad en moverse en un proceso de principio a fin. Incluye el tiempo de espera en filas y los amortiguadores.
10. Relación entre tiempo y unidades en un proceso.
11. ¿Cuál es la relación matemática entre tiempo y unidades en un proceso?
12. ¿Cuál es la suposición importante acerca de la forma como opera un proceso para que sea válida la ley de Little?

1. Un proceso 2. Utilización 3. Ocio 4. Bloqueo 5. Cuello de botella 6. Fabricar por pedido y fabricar para existencias 7. Cadencia 8. Referencia 9. Tiempo de procesamiento 10. Ley de Little 11. Inventario = Tasa de rendimiento × Tiempo de procesamiento 12. El proceso opera en estado estable

Bibliografía seleccionada

Anupindai, R., S. Chopra, S. D. Deshmukh, J. A. van Mieghem y E. Zemel., *Managing Business Process Flows,* 2a. ed., Upper Saddle River, Nueva Jersey, Prentice Hall, 2005.

Gray, A. E., y J. Leonard, "Process Fundamentals", Harvard Business School 9-696-023.

Jeston, J., y J. Nelis, *Business Process Management: Practical Guidelines to Successful Implementation,* Burlington, Massachusetts, Butterworth-Heinemann, 2006.

Capítulo 5A

DISEÑO DE PUESTOS Y MEDICIÓN DEL TRABAJO

Después de leer este capítulo, usted:

1. Entenderá la forma en que el diseño de puestos afecta al tipo de trabajador necesario y la motivación del trabajador.
2. Describirá cómo hacer más interesante el trabajo para los empleados.
3. Explicará el modo en que el rendimiento del trabajador se relaciona con una paga de incentivos.
4. Explicará cómo se establecen normas de operación mediante diversos métodos.

La tarea del gerente de operaciones, por definición, es administrar al personal que crea los productos y servicios de la empresa. No se exagera al decir que se trata de un trabajo muy difícil en el entorno complejo de nuestros días. La diversidad de los antecedentes culturales y educativos de la mano de obra, sumada a la frecuente reestructuración de las organizaciones, requiere un nivel mucho mayor de habilidades para administrar a las personas del que se requería apenas en un pasado reciente.

El objetivo de administrar al personal es obtener la productividad más elevada posible sin sacrificar la calidad, el servicio o la capacidad de respuesta. El gerente de operaciones emplea las técnicas del diseño de puestos para estructurar el trabajo de modo que satisfaga las necesidades físicas y psicológicas del empleado. Con los métodos de medición del trabajo se determina el medio más eficiente para desempeñar una actividad dada, así como para fijar normas razonables de desempeño. Las personas se sienten motivadas por muchas cosas, y la retribución monetaria es tan solo una de ellas. Los gerentes de operaciones estructuran estas retribuciones no solo para motivar en forma consistente un alto desempeño, sino también para reforzar los aspectos más importantes del trabajo.

Decisiones del diseño de puestos

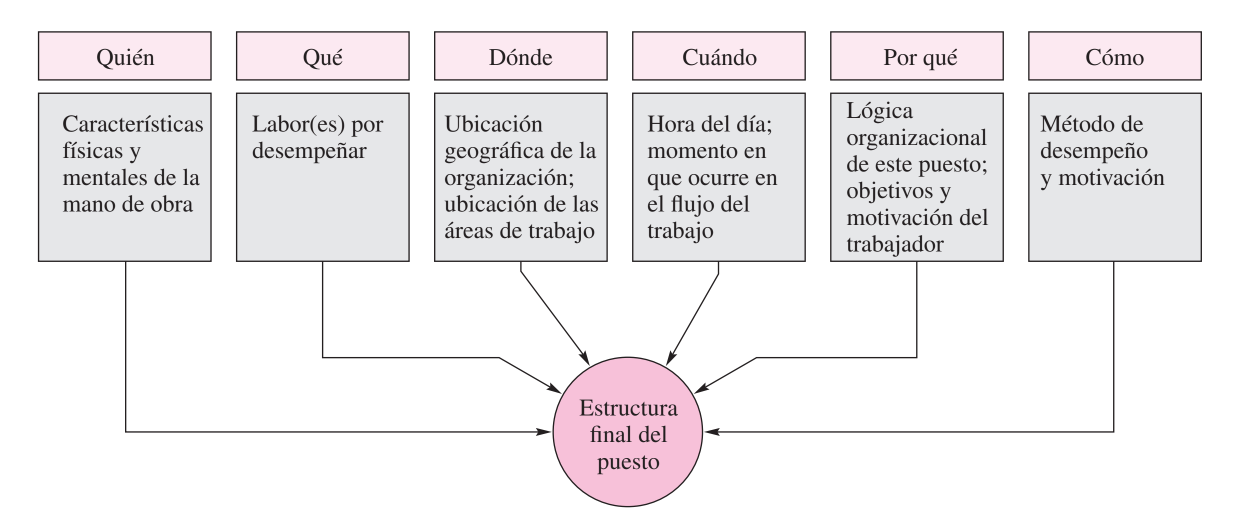
El **diseño de puestos** puede definirse como la función de especificar las actividades laborales de un individuo o un grupo en un contexto organizacional. Su objetivo es crear estructuras laborales que satisfagan las necesidades de la organización y su tecnología, así como los requerimientos personales e individuales de la persona que ocupa el puesto. La ilustración 5A.1 resume las decisiones que implica. Las siguientes tendencias afectan estas decisiones:

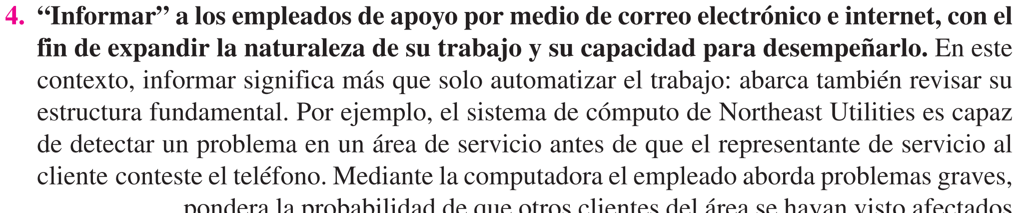
Diseño de puestos

Servicio

1. **Control de calidad como parte del puesto del trabajador.** Con frecuencia llamado ahora “calidad de origen” (vea el capítulo 9), el control de calidad está ligado al concepto de *empowerment,* o facultación. A su vez, el *empowerment* se refiere a que se otorga a los trabajadores la autoridad para detener una línea de producción si se presenta un problema de calidad o para entregar al cliente un reembolso de inmediato si el servicio no fue satisfactorio.
2. **Capacitación cruzada de los trabajadores para que desempeñen labores que requieren múltiples habilidades.** A medida que las empresas adelgazan, se espera que la mano de obra restante desempeñe más y diferentes actividades.
3. **Participación del empleado y enfoques de equipo para diseñar y organizar el trabajo.** Se trata de una característica central de la administración de la calidad total (TQM) y de las actividades para la mejora continua. De hecho, cabe decir que prácticamente todos los programas de la TQM se basan en equipos.

ILUSTRACIÓN 5A.1
Decisiones del diseño de puestos.





4. **"Informar" a los empleados de apoyo por medio de correo electrónico e internet, con el fin de expandir la naturaleza de su trabajo y su capacidad para desempeñarlo.** En este contexto, informar significa más que solo automatizar el trabajo: abarca también revisar su estructura fundamental. Por ejemplo, el sistema de cómputo de Northeast Utilities es capaz de detectar un problema en un área de servicio antes de que el representante de servicio al cliente conteste el teléfono. Mediante la computadora el empleado aborda problemas graves, pondera la probabilidad de que otros clientes del área se hayan visto afectados y envía cuadrillas de reparación incluso antes de recibir otras llamadas.

Lugar de trabajo sustentable.

5. **Amplio uso de trabajadores temporales.** Manpower, empresa especializada en proporcionar empleados temporales, tiene en su nómina a más de 4.4 millones de personas en todo el mundo.
6. **Creación de "centros de trabajo alternativos", como oficinas compartidas, trabajo a distancia y oficinas virtuales, que complementen o sustituyan los contextos tradicionales de las oficinas.** Se utilizan para incrementar la productividad, reducir los costos de viajes y bienes inmuebles, y reclutar y retener a los empleados. IBM, AT&T y American Express son importantes partidarias de este enfoque.[1]
7. **Automatización del trabajo manual pesado.** Los ejemplos abundan en los servicios (camiones de una persona para recoger basura) y la manufactura (robots que rocían la pintura de los carriles de automóviles). Estos cambios se deben a las normas de seguridad así como a razones económicas y de personal.
8. **Compromiso de la empresa de ofrecer empleos gratificantes y satisfactorios para todos los empleados.** Las empresas en la lista de "Las 100 mejores compañías para trabajar" de la revista *Fortune* utilizan medios creativos para que sus empleados se sientan satisfechos y ofrecen pagos generosos por despido cuando recortan personal (consulte en **www.fortune.com** la lista actual).
9. **Desarrollo del lugar de trabajo sustentable.** Esta tendencia más reciente es un seguimiento natural del punto 8. Un **lugar de trabajo sustentable** apoya por completo al individuo y la organización sin comprometer a las generaciones futuras. Las características de un lugar de trabajo sustentable son procesos integrados de diseño, desarrollo del diseño en colaboración con los ocupantes del lugar de trabajo y materiales renovables. El interés actual está en el diseño de edificios de oficinas urbanas con vistas al entorno exterior y lugares de trabajo que promuevan el trabajo en equipo. Algunas características para ahorrar energía son la iluminación de luz de día y tragaluces complementados por sistemas de iluminación de alta eficiencia, así como sensores automáticos de luz de día y de ocupación, que apagan las luces cuando no son necesarias.

Lugar de trabajo sustentable

Consideraciones conductuales para el diseño de puestos

Grado de especialización laboral

Especialización laboral

La **especialización laboral** es un arma de doble filo cuando se diseñan los puestos. Por un lado, la especialización permite producir a gran velocidad y bajo costo, y, desde el punto de vista materialista, mejora en gran medida el nivel de vida. Por otro lado, la especialización extrema (como la que vemos en las industrias de producción masiva) muchas veces tiene efectos negativos en los trabajadores, efectos que a su vez se trasladan a la gerencia. En esencia, el problema radica en determinar el grado de especialización que se puede calificar de suficiente. ¿En qué punto las desventajas pesan más que las ventajas? (Vea la ilustración 5A.2.)

Investigaciones recientes sugieren que, por lo general, las desventajas superan a las ventajas con más frecuencia de lo que se pensaba. No obstante, es muy arriesgado decir, por razones puramente humanitarias, que se debe evitar la especialización. Desde luego, la razón es que las personas desean obtener cosas diferentes de su trabajo y no todas están dispuestas a contribuir en

[1] M. Apgar IV, "The Alternative Workplace: Changing Where and How People Work", *Harvard Business Review* 76, núm. 3, mayo-junio de 1998, pp. 121-136.

ILUSTRACIÓN 5A.2
Ventajas y desventajas de la especialización laboral.

Ventajas de la especialización	
Para la gerencia	**Para los trabajadores**
1. Capacitación rápida de la fuerza de trabajo 2. Facilidad para reclutar a nuevos empleados 3. Producción elevada en razón de un trabajo repetitivo y sencillo 4. Salarios bajos en razón de la facilidad de sustituir a los trabajadores 5. Control estrecho del flujo y cargas de trabajo	1. Poca o ninguna preparación requerida para conseguir empleo 2. Facilidad para aprender la labor
Desventajas de la especialización	
Para la gerencia	**Para los trabajadores**
1. Dificultad para controlar la calidad porque nadie es responsable del producto completo 2. Insatisfacción de los trabajadores que conlleva a los costos ocultos que se derivan de la rotación, ausentismo, retardos, quejas laborales e interrupción intencional del proceso de producción 3. Menor probabilidad de mejorar el proceso debido a la perspectiva limitada de los trabajadores 4. Flexibilidad limitada para cambiar el proceso de producción a efecto de elaborar productos nuevos o mejorados	1. Aburrimiento que se deriva de la naturaleza repetitiva del trabajo 2. Escasa gratificación derivada del trabajo mismo en razón de la poca aportación a cada artículo 3. Escaso o ningún control del ritmo del trabajo que genera frustración y fatiga (situaciones de la línea de montaje) 4. Pocas oportunidades para avanzar a un empleo mejor porque rara vez es posible aprender mucho de un trabajo fraccionado

igual medida. Algunos empleados prefieren no tomar decisiones respecto de su trabajo, a otros les gusta soñar despiertos y otros más simplemente no son capaces de desempeñar labores más complejas. Para mejorar la calidad de los empleos, las organizaciones líderes aplican diferentes estrategias para diseñar puestos. Dos enfoques populares en la actualidad son el enriquecimiento del trabajo y los sistemas sociotécnicos.

ENRIQUECIMIENTO DEL TRABAJO

La *ampliación del trabajo* por lo general implica adaptar un trabajo especializado para que resulte más interesante a la persona que ocupa el puesto. Se dice que un puesto se amplía *horizontalmente* si el trabajador desempeña una mayor cantidad de actividades, o más variadas, y que un puesto se amplía *verticalmente* si el trabajador participa en la planeación, organización e inspección de su propio trabajo. La ampliación horizontal del trabajo tiene por objeto contrarrestar la simplificación exagerada y permitir que el trabajador realice "una unidad completa de trabajo". La ampliación vertical (tradicionalmente llamada *enriquecimiento del trabajo*) busca aumentar la influencia de los trabajadores en el proceso de transformación al otorgarles ciertas facultades administrativas para dirigir sus propias actividades. Hoy en día, la práctica general consiste en aplicar tanto la ampliación horizontal como la vertical a un puesto dado y llamar **enriquecimiento del trabajo** al enfoque completo.

Enriquecimiento del trabajo

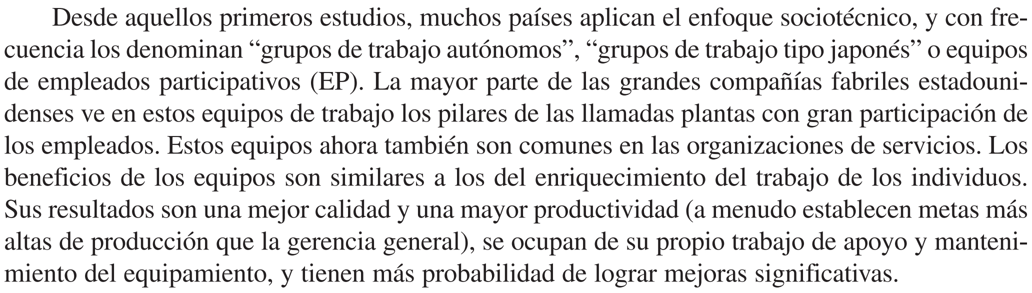
Los beneficios del enriquecimiento del trabajo para la organización se manifiestan en la calidad y la productividad. La calidad en particular mejora en gran medida porque, cuando los individuos son responsables del producto de su trabajo, lo hacen suyo y simplemente lo hacen mejor. Además, como conocen mejor el proceso de la labor, es más probable que detecten y corrijan errores que cuando tienen un enfoque estrecho de ella. El enriquecimiento del trabajo también mejora la productividad, pero las mejoras no son tan previsibles ni tan grandes como las que registra la calidad. Esto se debe a que el trabajo enriquecido invariablemente contiene una mezcla de tareas que (en el caso de los trabajadores manuales) provoca interrupciones en el ritmo y diferentes movimientos cuando se cambia de una labor a otra. No sucede así en el caso de los trabajos especializados.[2]

[2] S. Lohr, "Slow Down, Brave Multitasker, and Don't Read This in Traffic", *New York Times*, 25 de marzo de 2007.

SISTEMAS SOCIOTÉCNICOS

Sistemas sociotécnicos

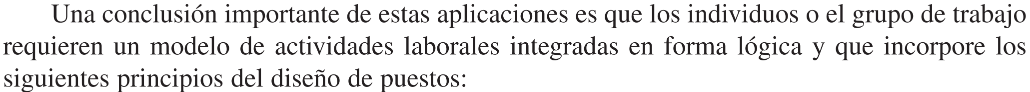
El enfoque de los **sistemas sociotécnicos** es congruente con la filosofía del enriquecimiento del trabajo, pero se enfoca más en la interacción entre la tecnología y el grupo de trabajo. Este enfoque pretende desarrollar puestos que adapten las necesidades de la tecnología del proceso de producción a las necesidades del trabajador y el grupo de trabajo. El término se creó en razón de estudios en empresas textiles de India y minas de carbón de Inglaterra a principios de la década de 1950. Estos estudios revelaron que los grupos en realidad eran capaces de manejar muchos problemas de producción mejor que la gerencia si se les permitía tomar sus propias decisiones sobre horarios, asignación de trabajo a los miembros, forma de compartir los bonos, etc. Esto resultó particularmente cierto cuando las variaciones del proceso de producción requerían que el grupo reaccionara con rapidez o cuando el trabajo de un turno se traslapaba con el de otro turno.



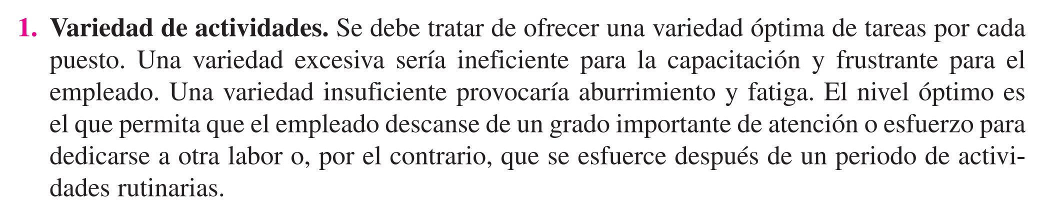
Desde aquellos primeros estudios, muchos países aplican el enfoque sociotécnico, y con frecuencia los denominan "grupos de trabajo autónomos", "grupos de trabajo tipo japonés" o equipos de empleados participativos (EP). La mayor parte de las grandes compañías fabriles estadounidenses ve en estos equipos de trabajo los pilares de las llamadas plantas con gran participación de los empleados. Estos equipos ahora también son comunes en las organizaciones de servicios. Los beneficios de los equipos son similares a los del enriquecimiento del trabajo de los individuos. Sus resultados son una mejor calidad y una mayor productividad (a menudo establecen metas más altas de producción que la gerencia general), se ocupan de su propio trabajo de apoyo y mantenimiento del equipamiento, y tienen más probabilidad de lograr mejoras significativas.

Global

Servicio



Una conclusión importante de estas aplicaciones es que los individuos o el grupo de trabajo requieren un modelo de actividades laborales integradas en forma lógica y que incorpore los siguientes principios del diseño de puestos:



1. **Variedad de actividades.** Se debe tratar de ofrecer una variedad óptima de tareas por cada puesto. Una variedad excesiva sería ineficiente para la capacitación y frustrante para el empleado. Una variedad insuficiente provocaría aburrimiento y fatiga. El nivel óptimo es el que permita que el empleado descanse de un grado importante de atención o esfuerzo para dedicarse a otra labor o, por el contrario, que se esfuerce después de un periodo de actividades rutinarias.
2. **Variedad de habilidades.** Las investigaciones revelan que los empleados obtienen satisfacción cuando utilizan diversos niveles de habilidades.
3. **Retroalimentación.** Debe existir un medio para informar a los empleados con rapidez que alcanzaron sus metas. La retroalimentación expedita contribuye al proceso de aprendizaje. Lo ideal es que los empleados tengan cierta responsabilidad cuando determinen sus propias normas de cantidad y calidad.
4. **Identidad de la labor.** Debe haber un límite claro entre los distintos grupos de tareas. En lo posible, un grupo o empleado individual deben ser responsables de un conjunto de actividades bien definido, visible y pertinente. Así, el grupo o el individuo que emprendan el trabajo lo considerarán importante, y los demás comprenderán y respetarán esta importancia.
5. **Autonomía de la labor.** Los empleados deben tener la capacidad de ejercer algún control sobre su trabajo. Deben tener a su alcance áreas de discreción y de toma de decisiones.

Medición y estándares laborales

Medición del trabajo

El propósito fundamental de la **medición del trabajo** es establecer tiempos que sirvan de modelo para una labor. Estos estándares son necesarios por cuatro motivos:

1. **Programar el trabajo y asignar capacidad.** Todos los enfoques de programación requieren que se estime la cantidad de tiempo que tarda desempeñar el trabajo programado.
2. **Ofrecer una base objetiva para motivar a la mano de obra y medir su desempeño.** Los estándares medidos tienen especial importancia cuando se emplean planes de incentivos basados en la cantidad de producto.
3. **Presentar cotizaciones de nuevos contratos y evaluar el desempeño de los existentes.** Preguntas como "¿Podemos hacerlo?" y "¿Cómo vamos?" suponen la existencia de estándares.

INNOVACIÓN

SOFTWARE DE MEDICIÓN LABORAL EN NORTHWEST AIRLINES

Northwest Airlines (NWA) enfrenta miles de desafíos debido a los precios récord de combustibles, la aguda competencia de otras líneas de bajo costo y los altos costos de la mano de obra. Estos desafíos exigen la reestructuración del modelo financiero de NWA para concentrarse en reducciones de costos sin afectar el servicio a clientes. NWA se apoya en su grupo de ingeniería industrial (IE) para diseñar y evaluar las oportunidades de mejoría de procesos. A su vez, el grupo de IE analiza y cuantifica las oportunidades de mejoría en procesos a partir de estudios de tiempos. Una herramienta básica para este propósito es WorkStudy+, software creado por Quetech Ltd. de Canadá.

Un proyecto en el que NWA aplica WorkStudy+ es el análisis del total de pasajeros de sus estaciones temporales en México. NWA planeaba un importante aumento de vuelos programados a uno de sus principales destinos de viajes de descanso en México. El gerente general de servicio al cliente deseaba garantizar que la estación tuviera el número apropiado de mostradores de venta de boletos para manejar el aumento planeado en tráfico de pasajeros y no tuvieran que esperar largas filas a su llegada al aeropuerto. En términos de ingeniería, ¿cuál es la capacidad total por mostrador de venta de boletos con base en restricciones de proceso, y cómo puede NWA asegurar un nivel aceptable de servicio para sus pasajeros medido en extensión de filas y tiempo de espera?

Para resolver estos retos, el grupo de IE tenía que conocer el tiempo de registro de pasajeros y la frecuencia de su llegada. El tiempo de registro de pasajeros es el que un empleado de servicio al cliente tarda en registrar a un pasajero o a un grupo de pasajeros para su vuelo. La frecuencia de llegada de pasajeros es la cantidad que llega en diferentes intervalos antes de la salida de su vuelo. Para reunir los datos se efectuaron dos estudios con un PDA y el software WorkStudy+. "Con este software es posible elaborar un estudio cuando se haga un vuelo a un lugar y analizar los datos en una computadora portátil en el vuelo de regreso. Esta capacidad mejoró en gran medida nuestro proyecto de tiempo de retorno", afirma el ingeniero industrial de NWA Victor Perazzoli.

Después de reunir y resumir la información se obtuvieron la capacidad total y la frecuencia de llegada de pasajeros. Los resultados demostraron diferencias singulares en frecuencias de llegada entre este lugar y otros de vuelos nacionales de NWA. Una vez cuantificados, el grupo IE elaboró un modelo con la información reunida en WorkStudy+ para determinar los mostradores de venta de boletos requeridos para mantener el nivel deseado de extensión de filas y tiempo de espera de pasajeros. A continuación se analizaron diferentes situaciones de número de personal y de vuelos para hacer las recomendaciones apropiadas para mejorar la eficiencia operacional de la aerolínea.

Fuente: Adaptado de Quetech Web Site, www.quetech.com

4. **Proporcionar puntos de referencia para mejorar.** Además de la evaluación interna, los equipos usan los puntos de referencia para comparar los estándares del trabajo en su empresa con los de puestos similares en otras organizaciones.

La medición del trabajo y los estándares resultantes provocan muchas polémicas desde la época de Taylor. Gran parte de las críticas proviene de los sindicatos, que argumentan que la gerencia acostumbra establecer estándares que suelen ser inalcanzables. (Para contrarrestarlo, en algunos contratos, el ingeniero industrial que determina el estándar debe demostrar que él es capaz de desempeñar el trabajo en un plazo de tiempo representativo con el ritmo en que se estableció.) También se esgrime el argumento de que establecer un porcentaje revisado (por lo general se le denomina *porcentaje recortado*) es como imponer una sanción a los trabajadores que encuentran una mejor manera de desempeñar el trabajo.

Servicio

No obstante estas críticas, la medición del trabajo y los estándares han demostrado su eficacia. Mucho depende de los aspectos sociotécnicos del trabajo. Cuando un trabajo requiere que los grupos de trabajo funcionen como equipos y produzcan mejoras, los estándares establecidos por los trabajadores suelen ser acertados. Por otra parte, cuando el trabajo en realidad se reduce a un desempeño rápido, que requiere poca creatividad (como entregar paquetes de UPS), entonces son aconsejables los estándares establecidos en forma profesional y diseñados con suma atención.

TÉCNICAS DE MEDICIÓN LABORAL

Hay cuatro técnicas básicas para medir el trabajo y establecer estándares. Son dos métodos de observación directa y dos de observación indirecta. Los métodos directos son el **estudio de**

Estudio de tiempos

Lo que dicen los profesionales… acerca de las aplicaciones de medición laboral en las ventas al menudeo

"Con el sistema de tiempos y movimientos predeterminados llamado MOST se establecen los estándares de las tiendas minoristas, como The Gap. Además del MOST, creamos los estándares con muestreo del trabajo y algún estudio automatizado de tiempos. El MOST es útil en la mayor parte de las actividades manuales (recibir y almacenar productos, acomodar mercancía en la tienda, cobrar a la salida, etc.). Con el muestreo del trabajo determinamos la frecuencia de los clientes y su comportamiento de compra, y convalidamos los estándares. El estudio de tiempos se aplica a actividades relacionadas con los procesos, como el tiempo de respuesta para una autorización de tarjeta de crédito o una máquina POS, y para las labores de participación del cliente/ventas."

Fuente: Jeff Peretin, de H.B. Maynard, uno de los despachos de consultoría de medición laboral más importantes del mundo.

Muestreo del trabajo

Sistemas de datos de tiempos y movimientos predeterminados (SMTP)

Datos elementales

tiempos, en cuyo caso se utiliza un cronómetro para medir los tiempos del trabajo, y el **muestreo del trabajo**, los cuales implican llevar registro de observaciones aleatorias de una persona o de equipos mientras trabajan. Los dos métodos indirectos son los **sistemas de datos de tiempos y movimientos predeterminados (STMP)**, que suman datos de tablas de tiempos de movimientos genéricos desarrollados en un laboratorio para encontrar el tiempo correspondiente al trabajo (los más comunes son los sistemas propietarios *Methods Time Measurement* [MTM] y *Most Work Measurement System* [MOST]), y los **datos elementales**, en cuyo caso se suman tiempos que se toman de una base de datos de combinaciones similares de movimientos para llegar al tiempo correspondiente al trabajo. La elección de la técnica depende del grado de detalle deseado y del carácter de la propia labor. El trabajo repetitivo, muy detallado, por lo general requiere un estudio de tiempos y del análisis de datos para tiempos y movimientos predeterminados. Cuando el trabajo se desempeña con equipamiento de tiempo fijo para el procesamiento, se suelen emplear datos elementales con el fin de que no resulte tan necesaria una observación directa. Cuando el trabajo es poco frecuente o entraña un tiempo extenso dentro del ciclo, el muestreo del trabajo es el instrumento aconsejable. (Vea en el recuadro "Lo que dicen los profesionales… acerca de las aplicaciones de medición laboral en las ventas al menudeo" un ejemplo de diversas técnicas en un contexto de servicios.)

Frank Gilbreth, pionero en medición del trabajo, sostiene un modelo físico de movimientos de brazo con que analizó labores de ensamblado.

ESTUDIO DE TIEMPOS

En seguida se explican los detalles técnicos del estudio de tiempos. Por lo general, el tiempo se estudia con un cronómetro, en el lugar en cuestión o con un video de la labor. El trabajo o la tarea objeto del estudio se divide en partes o elementos medibles, y se cronometra el tiempo de cada uno en forma individual.

Algunas reglas generales para la clasificación en elementos son:

1. Definir cada elemento del trabajo de modo que dure poco tiempo, pero lo bastante para cronometrarlo y anotarlo.
2. Si el operario trabaja con equipo que funciona por separado (es decir, si el operario desempeña una actividad y el equipo funciona de modo independiente), dividir las acciones del operario y las del equipo en elementos diferentes.
3. Definir las demoras del operador o del equipo en elementos separados.

Tras varias repeticiones se promedian los tiempos registrados. (Se puede calcular la desviación estándar para obtener una medida de la variación de los tiempos del desempeño.) Se suman los promedios de los tiempos de cada elemento y así se obtiene el tiempo del desempeño del operario. No obstante, para que el tiempo de este operario sea aplicable a todos los trabajadores, se debe incluir una medida de la velocidad, o *índice de desempeño*, que será lo "normal" para ese trabajo. La aplicación de un factor del índice genera el llamado **tiempo normal**. Por ejemplo, si un operario desempeña una labor en dos minutos y el analista del estudio de tiempos considera que su desempeño es alrededor de 20% más rápido del

Tiempo normal

normal, el índice de desempeño de ese operario sería 1.2, o 120% del normal. El tiempo normal se calcula así: 2 minutos × 1.2, o 2.4 minutos. En forma de ecuación,

Tiempo normal = Tiempo del desempeño observado por unidad × Índice de desempeño

En este ejemplo, *TN* denota el tiempo normal:

$$TN = 2(1.2) = 2.4 \text{ minutos}$$

Cuando se observa a un operario durante un periodo, la cantidad de unidades que produce y el índice del desempeño, se tiene

$$TN = \frac{\text{Tiempo trabajado}}{\text{Cantidad de unidades producidas}} \times \text{Índice del desempeño}$$

El **tiempo estándar** se encuentra mediante la suma del tiempo normal más cierta permisibilidades para necesidades personales (descansos para ir al baño o tomar café), demoras inevitables (descomposturas del equipo o falta de materiales) y fatiga del trabajador (física o mental). Dos ecuaciones son

Tiempo estándar

Tiempo estándar = Tiempo normal + (Tolerancias × Tiempo normal)

o

$$TE = TN\,(1 + \text{permisibilidades}) \tag{5A.1}$$

y

$$TE = \frac{TN}{1 - \text{Tolerancias}} \tag{5A.2}$$

La ecuación (5A.1) es mucho más común en la práctica. Si se supone que deben aplicarse permisibilidades al periodo completo de la labor, entonces la ecuación (5A.2) es la correcta. Para ilustrar, suponga que el tiempo normal para desempeñar una tarea es un minuto y las permisibilidades para necesidades personales, demoras y fatiga suman un total de 15%; así, según la ecuación (5A.1),

$$TE = 1(1 + 0.15) = 1.15 \text{ minutos}$$

En una jornada de ocho horas, un trabajador produciría 8 × 60/1.15, o 417 unidades. Lo anterior implica que trabaja 417 minutos con 480 – 417 (o 63) minutos de permisibilidades.

Con la ecuación (5A.2),

$$TE = \frac{1}{1 - 0.15} = 1.18 \text{ minutos}$$

En esa misma jornada de ocho horas se producen 8 × 60/1.18 (o 408) unidades con 408 minutos de trabajo y 72 minutos de permisibilidades. Según la ecuación que se utilice, hay una diferencia de nueve minutos en el tiempo diario de permisibilidades.

EJEMPLO 5A.1: Estudio de tiempos de una labor con cuatro elementos

Paso por paso

La ilustración 5A.3 presenta un estudio de tiempo de diez ciclos de una labor con cuatro elementos. Cada elemento tiene un espacio para registrar las lecturas de la observación en centésimas de minuto. También hay un espacio para resumir los datos y aplicar un índice de desempeño.

Solución

El valor de $\overline{T}$ se obtiene con el promedio de los datos observados. *ID* denota el índice de desempeño y se multiplica por $\overline{T}$ para obtener el tiempo normal (*TN*) de cada elemento. El tiempo normal del trabajo es la suma de los tiempos normales de los elementos. El tiempo estándar, calculado con la ecuación (5A.1), aparece al pie de la ilustración 5A.3. ●

ILUSTRACIÓN 5A.3
Hoja de observación para un estudio de tiempos.

Hoja de observación para un estudio de tiempos														
Identificación de la operación	*Armar gráficas en blanco de 24" × 36"*										Fecha *10/9*			
Tiempo inicial: *9:26* Tiempo final: *9:32*	Operario 109				Visto bueno *BJR*						Observador *S.D.T.*			
Descripción de elementos y punto de quiebre	Ciclos										Resumen			
	1 0.00	2	3	4	5	6	7	8	9	10	*T*	*T̄*	*PR*	*NT*
1 *Doblar el extremo final (tomar engrapadora)*	*.07*	*.07*	*.05*	*.07*	*.09*	*.06*	*.05*	*.08*	*.08*	*.06*	*.68*	*.07*	*.90*	*.06*
	.07	*.61*	*.14*	*.67*	*.24*	*.78*	*.33*	*.88*	*.47*	*.09*				
2 *Engrapar cinco veces (dejar engrapadora)*	*.16*	*.14*	*.14*	*.15*	*.16*	*.16*	*.14*	*.17*	*.14*	*.15*	*1.51*	*.15*	*1.05*	*.16*
	.23	*.75*	*.28*	*.82*	*.40*	*.94*	*.47*	*.05*	*.61*	*.24*				
3 *Doblar e introducir alambre (dejar pinzas)*	*.22*	*.25*	*.22*	*.25*	*.23*	*.23*	*.21*	*.26*	*.25*	*.24*	*2.36*	*.24*	*1.00*	*.24*
	.45	*.00*	*.50*	*.07*	*.63*	*.17*	*.68*	*.31*	*.86*	*.48*				
4 *Hacer a un lado gráfica terminada (tomar siguiente hoja)*	*.09*	*.09*	*.10*	*.08*	*.09*	*.11*	*.12*	*.08*	*.17*	*.08*	*1.01*	*.10*	*.90*	*.09*
	.54	*.09*	*.60*	*.15*	*.72*	*.28*	*.80*	*.39*	*.03*	*.56*			*0.55 minuto normal del ciclo*	
5														
6														
10														
Tiempo normal del ciclo *0.55* + Permisibilidades *(0.55 × 0.143) o 0.08* = Tiempo estándar *0.63 min/pieza*														

¿Cuántas observaciones son suficientes? El estudio de los tiempos en realidad es un proceso de muestreo; es decir, se considera que una cantidad relativamente pequeña de observaciones es representativa de los muchos ciclos subsiguientes que desempeñará el trabajador. Con base en muchos análisis y experiencias, la tabla de Benjamin Niebel que presenta la ilustración 5A.4 indica que lo "suficiente" está en función de la duración del ciclo y del número de repeticiones del trabajo en un periodo de planeación de un año.

MUESTREO DEL TRABAJO

Otra técnica común para medir una labor es el muestreo del trabajo. Como su nombre sugiere, el muestreo del trabajo implica observar una parte o muestra de la actividad laboral. Después, con base en lo que se encuentre en la muestra, se establecen afirmaciones respecto de la actividad. Por ejemplo, si se observara a un escuadrón de rescate del departamento de bomberos en 100 ocasiones aleatorias durante el día y se encontrara que participó en una misión de rescate 30 de 100 veces (en ruta, *in situ* o regresando de una llamada), se calcularía que el escuadrón de rescate dedica 30% de su tiempo a atender directamente llamadas para misiones de rescate. (El tiempo necesario para hacer una observación depende de lo que se observa. Muchas veces basta echar un vistazo para determinar la actividad, y la mayor parte de los estudios solo requiere algunos segundos de observación.)

Sin embargo, observar una actividad hasta 100 veces tal vez no proporcione la exactitud deseada para el cálculo. Para perfeccionar este cálculo se deben decidir tres puntos clave. (Más adelante en esta sección se explican los puntos y se incluye un ejemplo.)

1. ¿Con qué grado de confiabilidad estadística se desean los resultados?
2. ¿Cuántas observaciones se necesitan?
3. ¿En qué momento preciso se deben hacer las observaciones?

Las tres aplicaciones principales del muestreo del trabajo son:

1. Proporción de la demora para determinar el porcentaje de tiempo de la actividad correspondiente al personal o al equipamiento. Por ejemplo, la gerencia tal vez quiera saber cuánto tiempo funciona o está detenida una máquina.
2. Medición del desempeño para elaborar el índice de desempeño de los trabajadores. Cuando el tiempo de la labor se relaciona con la cantidad de producto, se prepara una medida de desempeño, la cual resulta muy útil para evaluar un desempeño periódico.

ILUSTRACIÓN 5A.4
Guía para el número de ciclos por observar en un estudio de tiempos.

Cuando el tiempo por ciclo es mayor que	Cantidad mínima de ciclos del estudio (actividad)		
	Más de 10 000 por año	1 000 a 10 000	Menos de 1 000
8 horas	2	1	1
3	3	2	1
2	4	2	1
1	5	3	2
48 minutos	6	3	2
30	8	4	3
20	10	5	4
12	12	6	5
8	15	8	6
5	20	10	8
3	25	12	10
2	30	15	12
1	40	20	15
0.7	50	25	20
0.5	60	30	25
0.3	80	40	30
0.2	100	50	40
0.1	120	60	50
Abajo de 0.1	140	80	60

Fuente: B. W. Niebel, Motion and Time Study, 9a. ed., Burr Ridge, Illinois, Richard D. Irwin, 1993, p. 390. The McGraw-Hill Companies, Inc. Reproducido con autorización.

3. Estándares de tiempo para obtener el propio de una labor. Cuando se aplica el muestreo del trabajo para este efecto, el observador debe ser experimentado porque debe adjudicar un índice de desempeño a sus observaciones.

La cantidad de observaciones requeridas para un estudio con muestreo del trabajo puede ser muy grande, desde varios cientos hasta varios miles, según la actividad y el grado de exactitud deseado. Si bien la cantidad se calcula con base en fórmulas, lo más fácil es consultar una tabla como la de la ilustración 5A.5, la cual contiene el número de observaciones necesarias para un grado de confiabilidad de 95% en términos de error absoluto. El *error absoluto* es el rango real de las observaciones. Por ejemplo, si un oficinista está inactivo 10% del tiempo y el diseñador del estudio queda satisfecho con un rango de 2.5% (es decir, el verdadero porcentaje está entre 7.5 y 12.5%), entonces la cantidad de observaciones requerida de muestras de trabajo es 576. Un error de 2% (o un intervalo entre 8 y 12%) requeriría 900 observaciones.

La preparación de un estudio con muestreo del trabajo sigue cinco pasos:

1. Identificar la o las actividades específicas que son el objeto central del estudio. Por ejemplo, determinar el porcentaje de tiempo que funciona el equipo, está detenido o en reparación.
2. Calcular la proporción de tiempo de la actividad en cuestión en relación con el tiempo total (por ejemplo, que el equipo trabaja 80% del tiempo). El analista puede hacer estos cálculos a partir de su conocimiento, datos históricos, supuestos confiables de terceros o un estudio piloto de muestreo del trabajo.
3. Establecer la exactitud deseada de los resultados del estudio.
4. Establecer las horas específicas de cada observación.
5. Durante el periodo del estudio, cada dos o tres intervalos se debe calcular de nuevo el tamaño que requiere la muestra con los datos recopilados hasta ese momento. De ser necesario, se debe ajustar el número de observaciones.

La cantidad de observaciones que se deben hacer en un estudio de muestreo del trabajo suele dividirse en forma equitativa a lo largo del periodo del estudio. Así, si se hicieran 500 observaciones durante un periodo de 10 días, las observaciones por lo general se programan a razón de 500/10, o 50 diarias. Después, con una tabla de números aleatorios, se asigna un periodo específico a las observaciones de cada día.

ILUSTRACIÓN 5A.5
Cantidad necesaria de observaciones para un error absoluto dado con valores diversos de p y grado de confiabilidad de 95%.

Excel: Tamaño de la muestra

Porcentaje del total de tiempo ocupado por la actividad o demora, *p*	Error absoluto					
	±1.0%	±1.5%	±2.0%	±2.5%	±3.0%	±3.5%
1 o 99	396	176	99	63	44	32
2 o 98	784	348	196	125	87	64
3 o 97	1 164	517	291	186	129	95
4 o 96	1 536	683	384	246	171	125
5 o 95	1 900	844	475	304	211	155
6 o 94	2 256	1 003	564	361	251	184
7 o 93	2 604	1 157	651	417	289	213
8 o 92	2 944	1 308	736	471	327	240
9 o 91	3 276	1 456	819	524	364	267
10 o 90	3 600	1 600	900	576	400	294
11 u 89	3 916	1 740	979	627	435	320
12 u 88	4 224	1 877	1 056	676	469	344
13 u 87	4 524	2 011	1 131	724	503	369
14 u 86	4 816	2 140	1 204	771	535	393
15 u 85	5 100	2 267	1 275	816	567	416
16 u 84	5 376	2 389	1 344	860	597	439
17 u 83	5 644	2 508	1 411	903	627	461
18 u 82	5 904	2 624	1 476	945	656	482
19 u 81	6 156	2 736	1 539	985	684	502
20 u 80	6 400	2 844	1 600	1 024	711	522
21 o 79	6 636	2 949	1 659	1 062	737	542
22 o 78	6 864	3 050	1 716	1 098	763	560
23 o 77	7 084	3 148	1 771	1 133	787	578
24 o 76	7 296	3 243	1 824	1 167	811	596
25 o 75	7 500	3 333	1 875	1 200	833	612
26 o 74	7 696	3 420	1 924	1 231	855	628
27 o 73	7 884	3 504	1 971	1 261	876	644
28 o 72	8 064	3 584	2 016	1 290	896	658
29 o 71	8 236	3 660	2 059	1 318	915	672
30 o 70	8 400	3 733	2 100	1 344	933	686
31 o 69	8 556	3 803	2 139	1 369	951	698
32 o 68	8 704	3 868	2 176	1 393	967	710
33 o 67	8 844	3 931	2 211	1 415	983	722
34 o 66	8 976	3 989	2 244	1 436	997	733
35 o 65	9 100	4 044	2 275	1 456	1 011	743
36 o 64	9 216	4 096	2 304	1 475	1 024	753
37 o 63	9 324	4 144	2 331	1 492	1 036	761
38 o 62	9 424	4 188	2 356	1 508	1 047	769
39 o 61	9 516	4 229	2 379	1 523	1 057	777
40 o 60	9 600	4 266	2 400	1 536	1 067	784
41 o 59	9 676	4 300	2 419	1 548	1 075	790
42 o 58	9 744	4 330	2 436	1 559	1 083	795
43 o 57	9 804	4 357	2 451	1 569	1 089	800
44 o 56	9 856	4 380	2 464	1 577	1 095	804
45 o 55	9 900	4 400	2 475	1 584	1 099	808
46 o 54	9 936	4 416	2 484	1 590	1 104	811
47 o 53	9 964	4 428	2 491	1 594	1 107	813
48 o 52	9 984	4 437	2 496	1 597	1 109	815
49 o 51	9 996	4 442	2 499	1 599	1 110	816
50	10 000	4 444	2 500	1 600	1 111	816

Nota: El número de observaciones se obtiene con la fórmula $E = Z\sqrt{\frac{p(1-p)}{N}}$ y la muestra requerida (N) es $N = \frac{Z^2 p(1-p)}{E^2}$,
donde E = Error absoluto
p = Porcentaje de veces que ocurre la actividad o demora que se mide
N = Número de observaciones aleatorias (tamaño de la muestra)
Z = Número de desviaciones estándar que brindan el grado de confiabilidad deseado (por ejemplo, para 90% de confiabilidad, $Z = 1.65$; para 95%, $Z = 1.96$; para 99%, $Z = 2.23$). En esta tabla, $Z = 2$

EJEMPLO 5A.2: Muestreo del trabajo aplicado a enfermeras

Desde hace mucho se dice que una parte importante del tiempo de las enfermeras de un hospital se dedica a actividades ajenas a la enfermería. Según este argumento, ello crea una aparente escasez de enfermeras capacitadas, se desperdicia talento, se entorpece la eficiencia e incrementa los costos del hospital, porque los salarios de las enfermeras son el costo aislado más elevado de los de la operación de un hospital. Es más, cada vez hay más presión sobre los hospitales y sus administradores para que frenen los costos. Con lo anterior en mente, se aplica el muestreo del trabajo para comprobar la hipótesis de que las enfermeras dedican una parte importante de su tiempo a labores ajenas a la enfermería.

Servicio

Paso por paso

Solución

Para empezar, suponga que se elaboró una lista de todas las actividades que corresponden a la enfermería y que las observaciones consideran tan solo dos categorías: actividades de enfermería y las ajenas a ella. De hecho, existe una acalorada polémica para definir las actividades de la enfermería. Por ejemplo, ¿hablar con un paciente es obligación de la enfermera? (Un estudio más amplio enumeraría todas las actividades de enfermería para determinar la fracción de tiempo que se destina a cada una de ellas.) Por tanto, en las observaciones del estudio, cuando se encuentra que la enfermera desempeña una obligación que aparece en la lista de enfermería, tan solo se anota una cruz en la columna de enfermería. Si se observa que hace algo ajeno, se anota una cruz en la columna de actividades ajenas a la enfermería.

Ahora se puede planear el estudio. Suponga que se estima (o lo hace el supervisor de enfermeras) que las enfermeras dedican 60% de su tiempo a actividades de enfermería. Suponga también que sería bueno tener una confiabilidad de 95% de que los resultados del estudio están dentro de un rango de error absoluto de ±3%; es decir, si el estudio arroja que las enfermeras destinan 60% de su tiempo a obligaciones de enfermería, se desea tener una confiabilidad de 95% de que el verdadero porcentaje se ubica entre 57 y 63%. Con base en la ilustración 5A.5 se requieren 1 067 observaciones para un tiempo de actividad de 60% y de ±3% de error. Si el estudio durara diez días, se empezaría con 107 observaciones por día.

Para establecer cuándo efectuar las observaciones de cada día, se asignan números específicos a cada minuto y se arma un horario con la tabla de números aleatorios. Si el estudio abarca un turno de ocho horas, se asignan números que correspondan a cada minuto consecutivo. En el caso de este estudio, es probable que el turno nocturno se tomara por separado, porque las obligaciones de las enfermeras nocturnas son muy diferentes de las diurnas. La ilustración 5A.6*A* muestra la asignación de números a los minutos correspondientes. En aras de la sencillez, como cada número corresponde a un minuto, se utiliza un plan de tres números, donde el segundo y el tercero corresponden a los minutos de la hora. Otros planes también serían correctos. Si se planean varios estudios, se puede generar un horario aleatorio de las horas de las observaciones mediante un programa de computadora.

Si se elige la tabla de los números aleatorios y anotar números de tres dígitos, se asigna cada número a una hora. Los números aleatorios de la ilustración 5A.6*B* muestran el procedimiento en siete observaciones.

Se sigue este procedimiento para generar 107 horas de observación, que se reordenan cronológicamente para facilitar la planeación. El reordenamiento de las horas establecidas en la ilustración 5A.6B produce el total de observaciones por día que presenta la ilustración 5A.6*C* (para la muestra de siete).

Si se desea ser perfectamente aleatorios en este estudio, se debe elegir "al azar" a la enfermera que se observe cada vez. (Observar a varias enfermeras disminuye el efecto del sesgo.) En el estudio, la primera observación es a las 7:13 a.m., al observar a la Enfermera X. Se ingresa a la sala de enfermeras y, al verla, se sabe si desempeña una actividad de enfermería o no. Cada observación necesita ser lo bastante extensa solo para establecer la clase de actividad; en la mayoría de los casos basta un vistazo. A las 8:04 a.m. se observa a la Enfermera Y. Se prosigue así hasta el final del día y las 107 observaciones. Al término del segundo día (y 214 observaciones), se decide comprobar si el tamaño de la muestra es correcto.

Digamos que se tienen 150 observaciones de enfermeras que trabajan como tales y 64 que no lo hacen, lo cual produce 70.1% que trabaja como enfermeras. A partir de la ilustración 5A.5, esto corresponde a 933 observaciones. Como ya se hicieron 214 observaciones, solo se tendrán que hacer 719 en los próximos ocho días, o 90 diarias.

Cuando el estudio está a la mitad, se debe hacer otra comprobación. Por ejemplo, si los días 3, 4 y 5 arrojaron 55, 59 y 64 observaciones de enfermeras que trabajan como tales, los datos acumulados darían 328 observaciones de enfermeras que laboran como tales de un total de 484, o 67.8% de actividad de trabajo de enfermería. Con un error de ±3%, la ilustración 5A.5 muestra que el tamaño de la muestra es del orden de 967, lo que deja 483 por hacer —97 por día— para los siguientes cinco días. Se debe hacer otro cómputo antes del último día para comprobar si es necesario otro ajuste. Si terminado el décimo día se necesitan varias observaciones más, se efectúan el día 11.

ILUSTRACIÓN 5A.6
Plan de muestreo de las actividades de las enfermeras.
A. Asignar números a los minutos correspondientes.
B. Establecer la hora de la observación.
C. Horario de observaciones.

A.

Tiempo	Números asignados
7:00-7:59 a.m.	100-159
8:00-8:59 a.m.	200-259
9:00-9:59 a.m.	300-359
10:00-10:59 a.m.	400-459
11:00-11:59 a.m.	500-559
12:00-12:59 p.m.	600-659
1:00-1:59 p.m.	700-759
2:00-2:59 p.m.	800-859

B.

Números aleatorios	Tiempo correspondiente de la lista de 5A.6A
669	No hay
831	2:31 p.m.
555	11:55 a.m.
470	No hay
113	7:13 a.m.
080	No hay
520	11:20 a.m.
204	8:04 a.m.
732	1:32 p.m.
420	10:20 a.m.

C.

Observación	Tiempo del horario	Actividad de enfermería (✓)	Actividad ajena a la enfermería (✓)
1	7:13 a.m.		
2	8:04 a.m.		
3	10:20 a.m.		
4	11:20 a.m.		
5	11:55 a.m.		
6	1:32 p.m.		
7	2:31 p.m.		

Si al término del estudio se encuentra que las enfermeras dedican 66% de su tiempo a lo que se definió como actividad de enfermería, se debe efectuar un análisis para identificar el 34% restante. Más o menos de 12 a 15% se justifica con descansos para tomar café y necesidades personales, lo cual deja por justificar entre 20 y 22% del tiempo, y se debe comparar con lo que la industria considera niveles ideales de actividad de enfermería. Para identificar las actividades ajenas a la enfermería, desde el principio se pudo incluir una división más detallada en el plan de muestreo. De lo contrario, quizá convenga un estudio de seguimiento. ●

ILUSTRACIÓN 5A.7
Cómo obtener un estándar de tiempo con muestreo del trabajo.

Información	Fuente de los datos	Datos de un día
Total de tiempo invertido por el operario (tiempo trabajado y de descanso)	Sistema de nómina computarizado	480 min
Número de piezas producidas	Departamento de inspección	420 piezas
Porcentaje de tiempo trabajado	Muestreo del trabajo	85%
Porcentaje de tiempo de descanso	Muestreo del trabajo	15%
Índice promedio del desempeño	Muestreo del trabajo	110%
Total de permisibilidades	Manual de estudio de tiempos de la compañía	15%

$$\text{Tiempo estándar por pieza} = \frac{\begin{pmatrix}\text{Tiempo total}\\ \text{en minutos}\end{pmatrix} \times \begin{pmatrix}\text{Proporción del}\\ \text{tiempo de trabajo}\end{pmatrix} \times \begin{pmatrix}\text{Índice de}\\ \text{desempeño}\end{pmatrix}}{\text{Número total de piezas producidas}} \times \frac{1}{1 - \text{Permisibilidades}}$$

$$= \left(\frac{480 \times 0.85 \times 1.10}{420}\right) \times \left(\frac{1}{1 - 0.15}\right) = 1.26 \text{ minutos}$$

Como ya se mencionó, los estándares de tiempos se establecen mediante el muestreo del trabajo. Para ello, el analista debe registrar el índice (o porcentaje) del desempeño del sujeto, así como las observaciones del trabajo. La ilustración 5A.7 presenta un ejemplo del campo de la manufactura que demuestra cómo calcular el tiempo estándar con el muestreo del trabajo.

Comparación entre el muestreo del trabajo y el estudio de tiempos

El muestreo del trabajo tiene varias ventajas:

1. Un solo observador puede efectuar varios estudios de muestreo del trabajo al mismo tiempo.
2. El observador no necesita ser un analista especializado, a no ser que el propósito del estudio sea establecer un estándar del tiempo.
3. No se requieren aparatos para medir el tiempo.
4. El observador puede dedicar menos horas a estudiar el trabajo en un periodo extenso dentro del ciclo.

Innovación

Vinculación de estándares e incentivos en los centros de distribución de The Gap

El minorista de ropa The Gap, Inc., tiene la convicción de que los estándares del trabajo, resultado de la ingeniería, son muy valiosos, y los aplica en algunos de sus centros de distribución desde hace más de 10 años. La empresa aplica estos estándares del trabajo para recibir existencias, llenar pedidos y enviar mercancía. Estos estándares "son nuestro principal medio de comunicación" con los asociados de los almacenes, explica Jay Ninah, ingeniero de planeación de The Gap. Cada semana se publican reportes del desempeño de individuos y grupos, y los asociados se reúnen con los supervisores una vez al mes para hablar de su desempeño. Por ende, los asociados siempre están al tanto del nivel de desempeño que se espera de ellos y cómo se ubica su desempeño individual en comparación con el estándar.

La publicación de los datos de desempeño de individuos y grupos es congruente con la política de libros abiertos de The Gap. "No se hace para intimidar a nadie, sino para compartir nuestros resultados. Además, crea la expectativa de que los estándares se establecieron bien. Si entre 85 y 90% de las personas llega al estándar, quienes no lo alcanzan saben que su método no es el mejor". The Gap brinda asesoría con base en sus estándares. Ninah explica: "Conforme detectamos a las personas con bajo desempeño, estructuramos un proceso de asesoría" mediante el cual los supervisores trabajan con los asociados en las áreas que deben mejorar. Los asociados tienen un motivo adicional para mejorar su trabajo gracias a un programa de incentivos vinculado al desempeño. Ninah comenta que el programa comenzó el año pasado y los asociados respondieron muy bien a él. Sostiene: "En lugar de dar un aumento general, lo damos con base en el desempeño".

ESTÁNDARES GLOBALES, APLICACIÓN LOCAL

La red de distribución de The GAP abarca 18 instalaciones, desde almacenes totalmente nuevos con la tecnología más reciente hasta otros con 20 años de existencia. Para asegurarse de que las normas laborales son las adecuadas en cada centro, el grupo de ingeniería central de la compañía en Erlanger, Kentucky, crea estándares globales. Después, los ingenieros de cada centro de distribución las adaptan a su local. Ninah explica que la mayor parte de los estándares laborales de The Gap proviene de estándares laborales predeterminados con base en el sistema MOST, desarrollado por H.B. Maynard Co. Luego se convalidan con estudios de cronómetro. El personal de ingeniería tiene que elaborar los escasos estándares no incluidos en las mediciones de tiempos predeterminados.

ESTÁNDARES BÁSICOS

Los estándares son un instrumento fundamental para preparar los planes y programas de The Gap, y han demostrado su enorme valor cuando se inauguran nuevos centros de distribución. Ninah afirma: "Son un buen parámetro para saber cuántas personas tendremos que contratar". Asimismo, los estándares laborales sirven para rastrear la curva de aprendizaje del nuevo centro. Ninah comenta: "Podemos apreciar cuánto tiempo se requiere para que un nuevo centro de distribución trabaje a la velocidad debida" y para que los asociados aprendan sus labores. Estos estándares resultaron un potente instrumento de comunicación en las instalaciones nuevas. El personal de ingeniería elabora los estándares laborales para los nuevos centros de distribución antes de que abran sus puertas. Las medidas permiten que los asociados "sepan lo que se espera de ellos y dónde están parados en relación con el punto donde deberían estar". Ninah finaliza: "Antes esperábamos una curva de aprendizaje de entre seis y ocho meses. Ahora hablamos más o menos de la mitad de ese tiempo".

Fuente: Modificado de Distribution Center Management 2002, Alexander Communications Group, Inc., www.distributiongroup.com

5. La duración del estudio es más larga, lo que reduce los efectos de las variaciones que se presentan en los periodos breves.
6. El estudio se puede detener temporalmente en cualquier momento sin grandes repercusiones.
7. Como el muestreo del trabajo solo requiere observaciones que duran unos instantes (efectuados en un periodo más largo), el operario tiene menos posibilidad de influir en los resultados si modifica su método de trabajo.

Cuando el ciclo de tiempo es breve, el estudio de tiempos es más adecuado que el muestreo del trabajo. Una desventaja del muestreo del trabajo es que no ofrece una clasificación tan completa de los elementos como el estudio de tiempos. Otra dificultad con el muestreo del trabajo es que los observadores, en lugar de seguir una secuencia aleatoria de observaciones, tienden a aplicar una ruta repetitiva. Esto puede dar lugar a que el momento de las observaciones sea predecible, e invalidar así los hallazgos. Un tercer factor —una desventaja potencial— es que la suposición básica en el muestreo del trabajo es que todas las observaciones se refieren al mismo sistema estático. Si el sistema está en proceso de cambio, el muestreo del trabajo puede generar resultados engañosos.

Resumen

Muchas personas consideran de menor importancia el diseño de puestos y la medición laboral para los negocios modernos, pero hacer un mal trabajo en estas actividades socava las más refinadas operaciones y estrategias de marketing. Respecto del ámbito de aplicación, las técnicas de estudios laborales son con frecuencia un método más rentable para efectuar mejoras continuas que los métodos populares actuales, como la producción ligera y Six Sigma. Este resultado es incluso más probable para empresas pequeñas, en donde un analista experto en estudios laborales ahorra el tiempo y esfuerzo requeridos para capacitar equipos de mejora de trabajadores con el fin de que ejecuten ellos mismos el diseño de puestos y efectúen estudios de medición laboral.

Conceptos clave

Diseño de puestos Función de especificar las actividades laborales de un individuo o grupo en un contexto organizacional.

Lugar de trabajo sustentable Lugar de trabajo que apoya por completo a la organización sin comprometer a las generaciones futuras.

Especialización laboral Labores sencillas y repetitivas asignadas a cada trabajador.

Enriquecimiento del trabajo El trabajo especializado se hace más interesante al ofrecer al trabajador una mayor variedad de actividades o una participación más activa en la planeación, organización e inspección.

Sistemas sociotécnicos Filosofía que se centra en la interacción entre la tecnología y el grupo de trabajo. El enfoque pretende desarrollar trabajos que ajusten la tecnología del proceso de producción a las necesidades del trabajador y del grupo de trabajo.

Medición del trabajo Análisis del trabajo con el fin de establecer estándares de tiempos.

Estudio de tiempos Se separa una labor en partes para medirlas y cronometrarlas por separado. Después se combinan los tiempos individuales y se suman las permisibilidades para calcular un estándar de tiempo.

Muestreo del trabajo Análisis de una actividad laboral mediante observaciones en momentos aleatorios. Con estas observaciones se explica el uso del tiempo durante la actividad.

Sistemas de datos de tiempos y movimientos predeterminados (STMP) Sistemas para obtener el tiempo de una labor que suman los datos de tablas de tiempos de movimientos genéricos elaboradas en laboratorio.

Datos elementales Con ellos se obtiene el tiempo de una labor mediante la suma de los tiempos que contiene una base de datos de combinaciones similares de movimientos.

Tiempo normal Tiempo en el que se espera que un operario normal termine una labor, sin tomar en cuenta permisibilidades.

Tiempo estándar Se calcula al sumar al tiempo normal las permisibilidades correspondientes a las necesidades personales, las demoras inevitables y la fatiga del trabajador.

Revisión de fórmulas

Tiempo estándar

$TE = TN(1 + \text{Permisibilidades})$	Supone que las permisibilidades se suman al tiempo normal.	**(5A.1)**
$TE = \dfrac{TN}{1 + \text{Tolerancias}}$	Supone que las permisibilidades se aplican al total del periodo laboral.	**(5A.2)**

Problemas resueltos

Problema resuelto 1

Brandon es muy ordenado y quiere planear su día a la perfección. Para ello, le pide a su amiga Kelly que tome el tiempo de sus actividades diarias. Estos son los tiempos de Brandon cuando bolea dos pares de zapatos negros mediante el método de restablecimiento rápido para medirlos. ¿Cuál es el tiempo estándar que tarda en bolear dos pares? (Suponga un factor de 5% de permisibilidades que requiere Brandon para poner una música suave en su iPod. Explique los elementos recurrentes en forma no cíclica mediante una división de los tiempos observados entre la cantidad total de ciclos observados.)

	Tiempos observados					
Elemento	**1**	**2**	**3**	**4**	**Índice de desempeño**	***TN***
Tomar el cajón de bolero	0.50				125%	
Bolear los zapatos	0.94	0.85	0.80	0.81	110	
Guardar el cajón				0.75	80	

Solución

	ΣT	$\bar{T}$	**Índice de desempeño**	***TN***
Tomar el cajón de bolero	0.50	0.50/2 = 0.25	125%	0.31
Bolear los zapatos (2 pares)	3.40	3.40/2 = 1.70	110	1.87
Guardar el cajón	0.75	0.75/2 = 0.375	80	0.30
Tiempo normal de un par de zapatos				2.48

El tiempo estándar para un par = 2.48 × 1.05 = 2.60 minutos.

Problema resuelto 2

Se hicieron 15 observaciones del jefe de panaderos de un distrito escolar. La descomposición numérica de sus actividades es:

Preparar	Hacer pan	Limpiar	Descansar
2	6	3	4

Con base en esta información, indique cuántas observaciones de muestreo de trabajo se necesitan para determinar la cantidad de tiempo que el panadero dedica a hacer pan. Suponga que desea una exactitud absoluta de 5% y un grado de confiabilidad de 95%.

Solución

Para calcular la cantidad de observaciones use la fórmula al pie de la ilustración 5A.5, en vista de que se requiere una confiabilidad de 95% (es decir, $Z \cong 2$).

$$p = \text{“Hacer pan”} = 6/15 = 40\%$$

$E = 5\%$ (dado)

$$N = \frac{4p(1-p)}{E^2} = \frac{4(.4)(1-.4)}{(.05)(.05)} = \frac{.96}{.0025} = 384$$

Preguntas de repaso y análisis

1. ¿Por qué los administradores e ingenieros industriales pueden manifestar escepticismo acerca del enriquecimiento del trabajo y el enfoque sociotécnico para diseñar puestos?
2. ¿Es incongruente que una empresa requiera tiempos estándares precisos y fomente la ampliación del trabajo?
3. Usted tomó el tiempo que su amigo Lefty tarda armando aparatos. Su tiempo promedio fue de 12 minutos en los dos ciclos que cronometró. Él se esforzaba mucho y usted piensa que ninguno de los otros nueve operarios que desempeñan esa labor puede superar su tiempo. ¿Está preparado para plantear este tiempo como el estándar para fabricar un pedido de 5 000 aparatos? De lo contrario, ¿qué otra cosa debe hacer?
4. Comente acerca de lo siguiente:
   a) "La medición del trabajo es algo anticuado. Automatizamos la oficina y ahora procesamos todas las facturas con computadora (después de que los 25 oficinistas capturan los datos en la base de datos)."
   b) "Es mejor que los trabajadores no sepan que estamos estudiando sus tiempos. Así, no se podrán quejar de que entorpecemos el camino cuando establecemos tiempos estándar."
   c) "Cuando todo el mundo forme parte del plan de incentivos, pondremos en marcha nuestro programa de medición del trabajo."
   d) "Está bien hablar de ritmo cuando se trata de bailar, pero no tiene cabida en la fábrica."
5. El nuevo gurú de mejora de procesos de su empresa es muy activo para ofrecer y requerir autoservicio en línea en todos los niveles de la administración, desde arreglos para viajes hasta solicitudes de cheques, reportes de gastos de viaje e incluso evaluaciones de desempeño en línea. ¿Qué le aconsejaría usted al gurú sobre esto?

Problemas

1. Con el formato siguiente evalúe un empleo que haya tenido respecto de los cinco principios del diseño de puestos que se presentaron en este capítulo. Obtenga un resultado numérico al sumar las cifras entre paréntesis.

	Malo (0)	**Regular (1)**	**Bueno (2)**	**Excelente (3)**
Variedad de actividades				
Variedad de habilidades				
Retroalimentación				
Identidad de actividades				
Autonomía de actividades				

   a) Calcule la puntuación de sus empleos. ¿El resultado coincide con lo que piensa subjetivamente acerca del empleo en general? Explique.
   b) Compare su puntuación con las de sus compañeros. ¿Hay un empleo que les guste a todos y otro que les disguste?
2. Se efectuó un estudio de tiempos de un empleo existente para elaborar nuevos tiempos estándar. Se observó a un trabajador durante 45 minutos. En ese periodo produjo 30 unidades. El analista consideró que el trabajador actuó con un índice de desempeño de 90%. Las permisibilidades que otorga la empresa para descanso y asuntos personales son de 12%.
   a) ¿Cuál es el tiempo normal para esa actividad?
   b) ¿Cuál es el tiempo estándar para esa actividad?
3. Bullington Company quiere establecer un tiempo estándar para la operación de pintar herraduras de recuerdo de la Aldea de Pioneros del lugar; se usará muestreo del trabajo. Se calcula que el tiempo trabajado promedia 95% del tiempo total (tiempo trabajado más tiempo inactivo). Un estudiante está dispuesto a encargarse del muestreo del trabajo entre las 8:00 a.m. y las 12:00 del día. El estudio abarca 60 días hábiles. Use la ilustración 5A.5 y un error absoluto de 2.5%. Con la tabla de números aleatorios (apéndice F) calcule el horario de las muestras del primer día (es decir, muestre la hora del día en que se debe efectuar una observación del tiempo trabajado/inactivo). Pista: Inicie la selección de números aleatorios con el primer recorrido.
4. El resultado final del estudio del problema 3 calculó un tiempo trabajado de 91.0%. En un turno de 480 minutos, el mejor operario pintó 1 000 herraduras. Se estimó que el índice de desempeño del estu-

diante era de 115%. El total de permisibilidades por fatiga, necesidades personales, etc., suma 10%. Calcule el tiempo estándar por unidad.

5. Suponga que quiere establecer un tiempo estándar para una panadera que se especializa en hacer donas cuadradas. Un estudio de muestreo del trabajo de su "jornada de donas" arrojó estos resultados:

Tiempo invertido (trabajado y descanso)	320 minutos
Cantidad de donas producidas	5 000
Tiempo trabajado	280 minutos
Índice de desempeño	125%
Permisibilidades	10%

¿Cuál es el tiempo estándar por dona?

6. En un intento por elevar la productividad y bajar los costos, Rho Sigma Corporation piensa instituir un plan de incentivos en su planta fabril. Al preparar los estándares para una operación, los analistas de un estudio de tiempos observaron a un trabajador durante 30 minutos. Durante ese periodo, el trabajador terminó 42 piezas. Los analistas calificaron la producción del trabajador con 130%. El salario base del trabajador es de cinco dólares por hora. La empresa estableció una permisibilidad de 15% por fatiga y tiempo personal.

a) ¿Cuál es el tiempo normal para la actividad?
b) ¿Cuál es el tiempo estándar para la actividad?
c) Si el trabajador produjera 500 unidades durante una jornada de ocho horas, ¿qué salario habría percibido?

7. Como los nuevos reglamentos cambiarán en gran medida los productos y servicios que brindan las instituciones de ahorro y crédito, es necesario realizar estudios de tiempos de los cajeros y demás personal para determinar la cantidad y el tipo de personas que se necesitarán y porque se podrían instituir planes de incentivos salariales. Como ejemplo de los estudios a los que se someterán distintas actividades, piense en el problema siguiente y encuentre respuestas adecuadas.

Se preparó un caso hipotético en el cual el cajero (cuyo título cambiaría a *asesor de cuenta*) tuvo que estudiar la cartera de un cliente y establecer, en su caso, si era más beneficioso consolidar diversos CD en una sola emisión ofrecida actualmente o dejar la cartera como estaba. El estudio de tiempos aplicado al cajero produjo estos resultados:

Tiempo del estudio	90 minutos
Cantidad de carteras estudiadas	10 carteras
Índice de desempeño	130%
Descanso para tiempo personal	15%
Nuevo salario propuesto para el cajero	$12 por hora

a) ¿Cuál es el tiempo normal para que un cajero haga un análisis de la cartera de CD?
b) ¿Cuál es el tiempo estándar para el análisis?

8. Según las observaciones de un gerente, un molino estaría inactivo alrededor de 30% del tiempo. Prepare un plan de muestreo del trabajo para determinar el porcentaje de tiempo inactivo, con un margen de error de 3% (±3%) y un grado de confiabilidad de 95%. Con los números aleatorios del apéndice B obtenga el horario de muestras del primer día (suponga que las muestras se tomarán durante 60 días y turnos de ocho horas, de 8:00 a 12:00 y de 1:00 a 5:00).

9. En un estudio de tiempos en una fábrica de televisores con pantalla LCD, un trabajador armó 20 unidades en 100 minutos. El analista del estudio de tiempos calificó al trabajador con un índice de desempeño de 110%. La permisibilidad para tiempo personal y fatiga es 15%. ¿Cuál es el tiempo normal y cuál es el tiempo estándar?

10. El gerente de un banco quiere establecer el porcentaje de tiempo que los cajeros trabajan y descansan. Decide utilizar muestreo del trabajo y su cálculo inicial es que los cajeros están inactivos 30% del tiempo. ¿Cuántas observaciones debe hacer el gerente para tener 95% de seguridad de que sus resultados no se alejan más de 2.5% del verdadero resultado?

11. Decision Science Institute (DSI) promueve su conferencia anual nacional con miles de cartas por correo a diferentes destinatarios. Se realizó un estudio de tiempos de la actividad de preparar las cartas para su envío. Con base en las observaciones que se presentan a continuación, DSI quiere crear un tiempo estándar para esa labor. El factor de permisibilidad para asuntos personales, demora y fatiga de la organización es 15%. Calcule el tiempo promedio del ciclo y el tiempo normal de cada elemento. Después, calcule el tiempo estándar de toda la actividad.

	Ciclo observado en minutos					
Elemento del trabajo	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**Índice de desempeño**
(A) Redactar carta	8	10	9	11	11	120%
(B) Imprimir etiquetas de direcciones	2	3	2	1	3	105%
(C) Guardar, cerrar los sobres y clasificarlos	2	1	3	2	1	110%

Cuestionario

1. Espada de dos filos del diseño de puestos.
2. Libertad para que un empleado haga una devolución inmediata.
3. Cuando un trabajo se amplía verticalmente.
4. Las cuatro técnicas básicas de medición del trabajo.
5. Tiempo normal más permisibilidades.
6. El propósito de normalizar un trabajo.
7. ¿Qué clase de técnica de medición laboral es MOST?
8. Los cinco principios de diseño de puestos.
9. Problema potencial del muestreo del trabajo.

1. Especialización 2. Atribución de facultades 3. A los trabajadores se les dan ciertas facultades gerenciales sobre sus propias actividades 4. Estudio de tiempos, muestreo de trabajo, sistemas de datos de tiempos y movimientos predeterminados, datos elementales 5. Tiempo estándar 6. Hacer que el tiempo de un operador sea útil para todos los trabajadores 7. Sistema de datos de tiempos y movimientos predeterminados 8. Variedad de actividades, variedad de conocimientos, retroalimentación, identidad de actividades, autonomía de actividades 9. Suposición de que todas las observaciones pertenecen al mismo sistema estático

Bibliografía seleccionada

Aft, L. S., *Work Measurement and Methods Improvement* (*Engineering Design and Automation),* Nueva York, Wiley-Interscience, 2000.

Groover, Mikell P., *Work Systems: The Methods, Measurement & Management of Work,* Upper Saddle River, Nueva Jersey, Prentice-Hall, 2006.

Meyers, F. E. y J. R. Stewart, *Time and Motion Study: For Lean Manufacturing,* 3a. ed., Upper Saddle River, Nueva Jersey, Prentice-Hall, 2001.

Niebel, B. W. y A. Freivalds, *Methods, Standards, and Work Design*, 12a. ed., Nueva York, WCB/McGraw-Hill, 2008.

Sakamoto, S., "Return to Work Measurement", *Industrial Engineer* 41, núm. 3, marzo de 2009, p. 24.

Capítulo 6

PROCESOS DE PRODUCCIÓN

Toshiba: fabricante de la primera computadora notebook

Tokyo Shibaura Denki (Tokyo Shibaura Electric Co. Ltd.) se constituyó en 1939 con la fusión de dos empresas japonesas muy innovadoras: Shibaura Seisaku-sho (Shibaura Engineering Works), que fabricaba transformadores, motores eléctricos, generadores hidroeléctricos y tubos de rayos X, y Tokyo Electric Company, que producía bombillas, receptores de radio y tubos de rayos catódicos. Poco después, la empresa se conoció como "Toshiba", nombre que se oficializó en 1978. Toshiba fue la primera compañía en fabricar lámparas fluorescentes en Japón (1940), así como radares (1942), equipo de transmisión (1952) y computadoras digitales (1954). También fue la primera empresa del mundo que produjera el potente chip DRAM de 1 megabit y la primera computadora notebook, la T3100, ambos en 1985.

Después de leer este capítulo, usted:

1. Entenderá la idea de un diagrama de proceso de producción.
2. Demostrará cómo se organizan los procesos de producción.
3. Explicará las concesiones por considerar al diseñar procesos de producción.
4. Describirá la matriz de producto-proceso.
5. Reconocerá que un análisis de punto de equilibrio es tan importante en administración de operaciones y cadena de suministro como lo es en otras áreas funcionales.

Toshiba debe su fuerza en el mercado de las computadoras notebook a que llegó antes que sus competidores, con productos de tecnología innovadora a muy buen precio. En el mercado de las computadoras notebook hay una competencia feroz y Toshiba conserva su posición de líder porque jamás cesa de mejorar sus procesos de producción y de bajar sus costos.

Dell Computer es un competidor formidable que reduce sus costos al armar las computadoras por pedido y venderlas directamente a los clientes. Toshiba goza de algunas ventajas sustantivas frente a Dell que en gran medida provienen de las colosales inversiones en tecnologías como pantallas a color con transistores de película delgada (TFT, por sus siglas en inglés), discos duros, baterías con iones de litio y puertos de DVD. Además, mediante asociaciones y empresas conjuntas con otros gigantes de la industria, Toshiba comparte el riesgo que implica desarrollar nuevas tecnologías costosas.

Fuente: Adaptado de *Toshiba: Ome Works*, Harvard Business School, 9-696-059, y www.toshiba.co.jp/worldwide/about/history.html

Colóquese en el lugar de Toshihiro Nakamura, supervisor de producción de la planta Ome Works de Toshiba. Se programó el inicio de la producción de la más reciente computadora mini-notebook de la empresa para dentro de solo 10 días. Mientras se abre paso entre un laberinto de escritorios hacia el taller de la planta, se pregunta si la línea en efecto podrá diseñarse a tiempo.

Lea los detalles relacionados con el diseño de una línea de montaje nueva en el caso al final del capítulo 6A, "Diseño de la línea de montaje de la computadora notebook de Toshiba".

Procesos de producción

Cadena de suministro

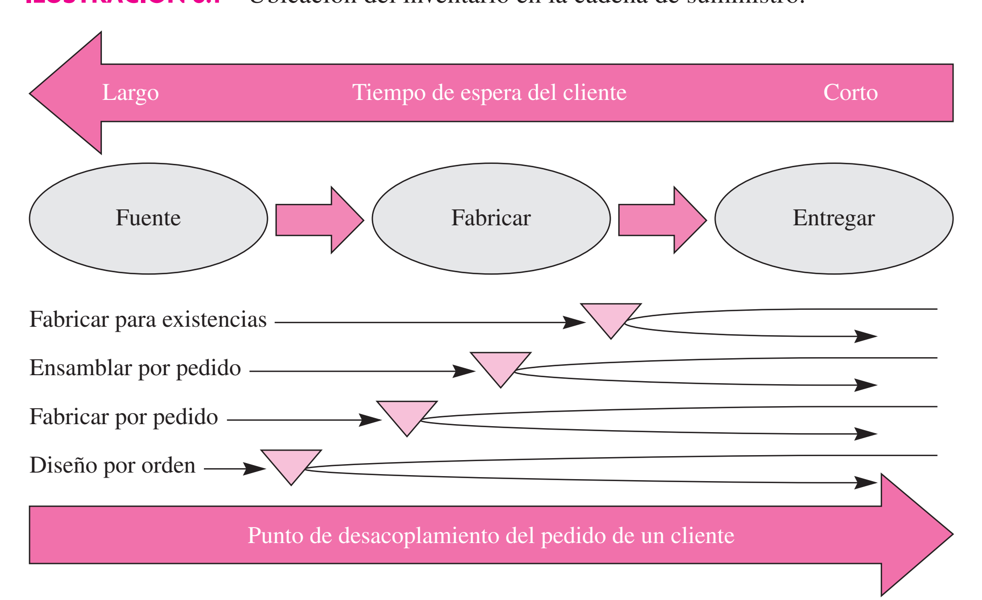
En este capítulo se considera el diseño de procesos para hacer objetos tangibles. Se usan procesos de producción para hacer todo lo que compramos, desde edificios de departamentos hasta plumas fuentes. Una panorámica de lo que se requiere para fabricar algo se divide en tres pasos sencillos, el primero de los cuales es solicitar a un proveedor las piezas necesarias, seguido por la manufactura física del artículo y a continuación su envío al cliente. Como ya se mencionó en el capítulo 1, ver esto desde la cadena de suministro abarca una compleja serie de participantes en la cual los subcontratistas alimentan a proveedores, estos a plantas de manufactura, estas a almacenes y, al final, los almacenes a vendedores al menudeo. Según el artículo que se produzca, la cadena de suministro es muy extensa, con subcontratistas y plantas de manufactura dispersas por el mundo (por ejemplo, un fabricante de automóviles o computadoras), o corta, en la cual las piezas o el producto se compran localmente (por ejemplo, una constructora de viviendas).

Considere la ilustración 6.1, que ilustra el paso Fuente, donde se adquieren piezas de uno o más proveedores, el paso Fabricar, donde tiene lugar la manufactura, y el paso Entregar, donde el producto se envía al cliente. Según la estrategia de la empresa, su capacidad de manufactura y de las necesidades de clientes, estas actividades se organizan para reducir al mínimo el costo sin dejar de satisfacer las prioridades competitivas necesarias para atraer pedidos de clientes. Por ejemplo, en el caso de productos al consumidor, como DVD o ropa, por lo general los clientes desean estos productos "por pedido" para una entrega rápida por parte de una tienda departamental local. Los fabricantes elaboran estos productos anticipándose a la demanda y los envían a los minoristas, donde se llevan en inventario hasta que se vendan. En el otro extremo del espectro están los productos hechos a la medida, por ejemplo, aviones militares solicitados con usos muy específicos en mente y que es necesario diseñar y luego construir según el diseño.

Tiempo de espera del cliente

En el caso de un avión, el tiempo necesario para responder al pedido del cliente, llamado **tiempo de espera del cliente**, fácilmente puede ser de años, en comparación con unos cuantos minutos para el caso de un DVD.

ILUSTRACIÓN 6.1 Ubicación del inventario en la cadena de suministro.



Punto de desacoplamiento del pedido de un cliente

Servicio

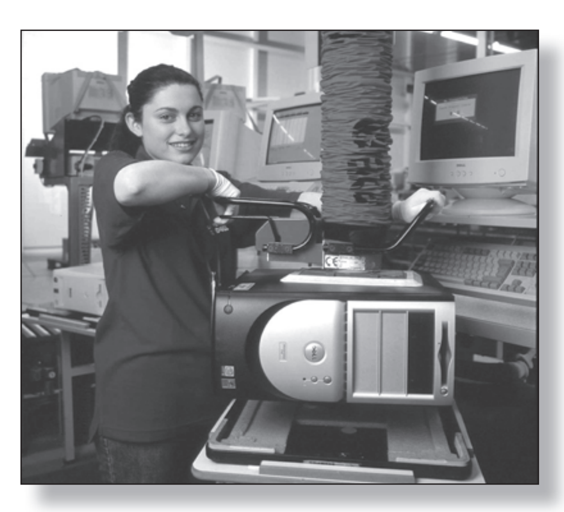
Un concepto clave en los procesos de producción es el **punto de desacoplamiento del pedido de un cliente**, que determina en dónde se ubica el inventario para permitir que los procesos o entidades de la cadena de suministro operen en forma independiente. Por ejemplo, si un minorista tiene existencias de un producto, el cliente lo toma del estante o exhibidor y el fabricante nunca ve un pedido del cliente. El inventario actúa como amortiguador para separar al cliente del proceso de manufactura. La selección de puntos de desacoplamiento es una decisión estratégica que determina los tiempos de espera del cliente y afecta en gran medida la inversión en inventario. Cuanto más se acerque este punto al cliente, con más rapidez se le atiende. Por lo común, hay un acuerdo conforme al cual la respuesta más rápida al cliente conlleva el costo de una mayor inversión en inventario, pues el inventario de bienes terminados es más costoso que el de materias primas. Un artículo en inventario de bienes terminados por lo general contiene todas las materias primeras necesarias para producirlo. Así, desde el punto de vista de costos, incluye el costo de los materiales más el costo de fabricar el artículo terminado.

Fabricar para existencias
Ensamblar por pedido
Fabricar por pedido
Diseño a la orden

Ubicar el punto de desacoplamiento del pedido de un cliente es importante para entender los ambientes de producción. Las empresas que atienden a clientes desde el inventario de artículos terminados se conocen como empresas que **fabrican para existencias**; las que combinan varios módulos ensamblados de antemano para satisfacer las especificaciones de un cliente se denominan empresas que **ensamblan por pedido**. Las que fabrican productos para el cliente a partir de materias primas, piezas y componentes, **fabrican por pedido**. Una empresa de **diseño a la orden** trabaja con el cliente para diseñar el producto, y después compra productos, piezas y componentes para elaborarlo. Desde luego, numerosas empresas operan en una combinación de estos ambientes, y unas cuantas lo hacen todo al mismo tiempo. Según el ambiente y la ubicación del punto de desacoplamiento del pedido de un cliente, cabe esperar que el inventario se concentre en artículos terminados, en trabajo en proceso (es decir, inventario en el proceso de manufactura), en manufactura de materias primas o en el proveedor, como se ve en la ilustración 6.1.

Manufactura esbelta

El problema principal para satisfacer clientes en el ambiente de fabricar para existencias es equilibrar el nivel de inventario terminado con el nivel de servicio al cliente. Entre los ejemplos de bienes producidos por estas empresas se encuentran televisores, ropa y alimentos empacados. Si existiesen los inventarios ilimitados y gratuitos, el trabajo sería trivial, pero por desgracia no es así. Contar con más inventario aumenta los costos, de modo que debe haber un punto medio entre costos del inventario y nivel de servicio al cliente. El punto medio se mejora con estimaciones (o conocimiento) más precisos de la demanda de clientes, transporte más rápido, producción más ágil y manufactura más flexible. Muchas empresas que fabrican para existencias invierten en programas de **manufactura esbelta** para alcanzar niveles más altos de servicio con una inversión determinada de inventario. Cualquiera que sea el punto medio de que se trate, el propósito de un ambiente de fabricar para existencias es contar con artículos terminados donde y cuando los clientes los desean.



El proceso de manufactura de Dell comprende el ensamble, instalación de software, prueba funcional (inclusive el "quemado") y control de calidad. El método de JIT de Dell aplica el sistema Pull, pues elabora las computadoras sólo después que el cliente las pide, y solicita materiales a proveedores conforme se necesitan.

En el ambiente de ensamblar por pedido, una labor básica es definir el pedido de un cliente en términos de componentes y opciones disponibles, pues son estos componentes los que se llevan en inventario. Un buen ejemplo es la forma como Dell Computer fabrica computadoras de escritorio. El número de combinaciones posibles es casi infinito (aunque algunos quizá no sean viables). Una característica requerida para triunfar en el ambiente de ensamble por pedido es un diseño de ingeniería que posibilite la mayor flexibilidad para combinar componentes, opciones y módulos en productos terminados. Similares a las empresas que fabrican para existencias, muchas que ensamblan para existencias aplican principios de manufactura esbelta para disminuir en forma considerable el tiempo que requiere ensamblar artículos terminados. Al hacerlo así, entregan los pedidos de clientes tan rápido que parecen empresas que fabrican para existencias desde el punto de vista del cliente.

Ensamblar por pedido genera grandes ventajas al mover el punto de desacoplamiento del pedido de un cliente de artículos terminados a componentes. El número de productos terminados es por lo general

mucho mayor que el número de componentes que se combinan para producir el artículo terminado. Considere por ejemplo una computadora para la cual hay cuatro procesadores, tres discos duros, cuatro DVD, dos sistemas de altavoces y cuatro monitores posibles. Si son válidas todas las combinaciones de estos 17 componentes, se puede mezclar un total de 384 configuraciones finales. Esto se calcula como sigue:

Si N_I es el número de opciones del componente I, el número total de combinaciones de n componentes (pues todas son viables) es:

$$\text{Número total de combinaciones} = N_1 \times N_2 \times \ldots \times N_n \quad \textbf{(6.1)}$$

$$\text{o } 384 = 4 \times 3 \times 4 \times 2 \times 4 \text{ para este ejemplo.}$$

Es mucho más fácil manejar y pronosticar la demanda de 17 componentes que de 384 computadoras.

En los ambientes de fabricar por pedidos y de diseño a la orden, el punto de desacoplamiento del pedido de un cliente puede estar ya sea en materias primas en la fábrica o quizás incluso en el inventario del proveedor. El proceso de fabricación de aviones comerciales de Boeing es un ejemplo de fabricar por pedidos. La necesidad de recursos de ingeniería en el caso de diseño a la orden determina los materiales necesarios y los pasos que se requieren en la manufactura. Según la semejanza de los productos, tal vez ni siquiera sea posible ordenar piezas por anticipado. Más que inventario, el acento en estos ambientes puede ponerse más en el manejo de la capacidad de recursos críticos, como ingeniería y personal de construcción. La división de satélites de Lockheed Martin aplica una estrategia de diseño a la orden.

Organización de los procesos de manufactura

La frase *selección del proceso* se refiere a la decisión estratégica de escoger el tipo de proceso de producción para fabricar un producto o brindar un servicio. Por ejemplo, en el caso de las computadoras notebook de Toshiba, si el volumen es muy bajo se puede decidir que un solo trabajador arme cada computadora a mano. Por otra parte, si el volumen es más grande, lo aconsejable sería establecer una línea de ensamble.

El patrón general del flujo del trabajo define los formatos para la distribución dentro de una instalación, con la consideración de que hay cinco estructuras básicas (proyecto, centro de trabajo, celda de manufactura, línea de ensamble y proceso continuo).

Distribución por proyecto

En el caso de la **distribución por proyecto**, el producto (en razón de su volumen o peso) permanece en un lugar fijo y el equipo de producción va hasta él y no al contrario. Los predios de obras (casas y caminos) y los escenarios donde se filman películas son ejemplos de este formato. Los bienes que se producen con este tipo de distribución suelen manejarse con las técnicas de administración de proyectos que se describen en el capítulo 10. Habrá ciertas áreas del lugar designadas para distintos propósitos, como material para escenografía, construcción de subensambles, acceso para maquinaria pesada y para la administración.

Centro de trabajo

Una distribución de **centro de trabajo**, en ocasiones denominado taller de trabajo, es donde se agrupan equipos o funciones semejantes, como todas las perforadoras en un área y todos las troqueladoras en otra. Así, la pieza que se produce pasa, según una secuencia establecida de operaciones, de un centro de trabajo a otro, donde se encuentran las máquinas necesarias para cada operación.

Celda de manufactura

La frase **celda de manufactura** se refiere a un área dedicada a la fabricación de productos que requieren procesamientos similares. Estas celdas se diseñan para desempeñar un conjunto específico de procesos, y se dedican a una variedad limitada de productos. Una empresa puede tener muchas celdas diferentes en un área de producción y cada una de ellas está preparada para producir con eficiencia un solo producto o un grupo de productos semejantes. En general, las celdas están programadas para producir "conforme se necesita" para responder a la demanda actual de los clientes.

Línea de ensamble

Una **línea de ensamble** se refiere a un lugar donde los procesos de trabajo se ordenan en razón de los pasos sucesivos que sigue la producción de un artículo. De hecho, la ruta que sigue cada pieza es una línea recta. Para la fabricación de un producto, las piezas separadas pasan

de una estación de trabajo a otra con un ritmo controlado y según la secuencia necesaria para fabricarlo. Algunos ejemplos son las líneas de ensamble de juguetes, aparatos eléctricos y automóviles.

Un **proceso continuo** se parece a una línea de ensamble porque la producción sigue una secuencia de puntos predeterminados donde se detiene, pero el flujo es continuo en lugar de mesurado. Estas estructuras suelen estar muy automatizadas y, de hecho, constituyen una "máquina" integral que puede funcionar las 24 horas del día para no tener que apagarla y arrancarla cada vez, porque ello resulta muy costoso. La conversión y procesamiento de materiales no diferenciados, como petróleo, productos químicos y fármacos, son un buen ejemplo.

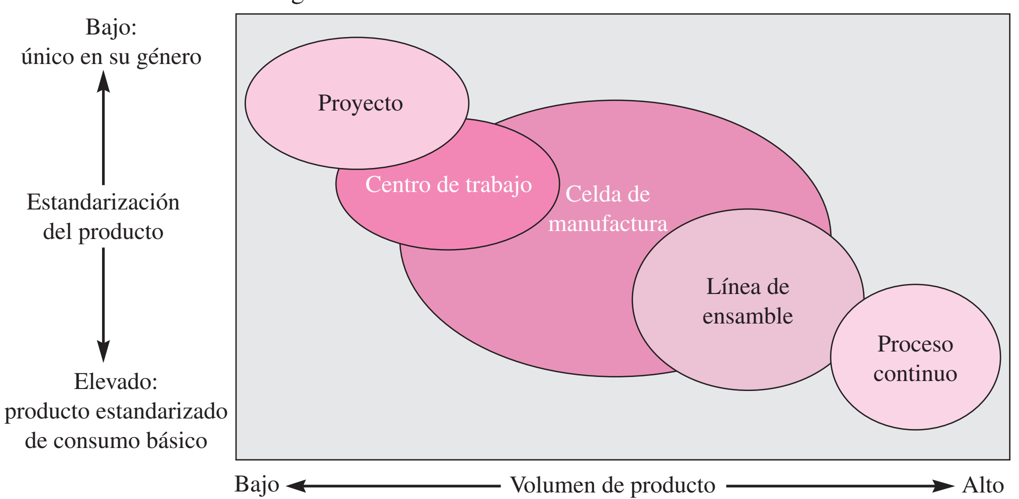
Proceso continuo

La relación entre estructuras de distribución en ocasiones se describe con una **matriz de procesos y productos**, como la de la ilustración 6.2. Se presentan dos dimensiones. La primera se refiere al volumen de productos fabricados, es decir, el volumen de un producto particular o de un grupo de productos estandarizados. La estandarización se presenta en el eje vertical y se refiere a las variaciones del producto, las cuales se miden en términos de diferencias geométricas, de materiales, etc. Los productos estandarizados tienen muchas similitudes desde el punto de vista del proceso de manufactura, mientras que los productos poco estandarizados requieren procesos distintos.

Matriz de procesos y productos

La ilustración 6.2 presenta los procesos en forma más o menos diagonal. En general, se puede decir que es aconsejable diseñar las instalaciones a lo largo de una diagonal. Por ejemplo, si se produce un volumen relativamente bajo de productos no estandarizados es conveniente emplear centros de trabajo. Por otro lado, es preferible en lo posible una línea de ensamble o un proceso continuo para fabricar un volumen grande de un producto muy estandarizado (de consumo general). Por la avanzada tecnología para la producción que existe en estos días, se observa que algunas estructuras de distribución abarcan áreas relativamente grandes de la matriz de procesos y productos. Por ejemplo, las celdas de manufactura se usan en una amplia gama de aplicaciones, lo cual explica por qué se convirtieron en una estructura de distribución muy popular, a la que los ingenieros de producción de manufacturas recurren con frecuencia.

ILUSTRACIÓN 6.2 Matriz de procesos y productos. Marco para describir estrategias de distribución.



Análisis del punto de equilibrio

Hay ocasiones en que la elección del equipo específico para un proceso se basa en el análisis de diferencias entre costos. En la matriz de procesos y productos (ilustración 6.2) se suelen presentar diferencias entre máquinas más o menos especializadas. El equipo menos especializado tiene "propósitos generales"; es decir, si se prepara bien, es fácil utilizarlo de diversas maneras. El

equipo más complejo tiene "propósitos especiales", y con frecuencia representa una opción ante una máquina de propósitos generales. Por ejemplo, si hay que perforar orificios en un pedazo de metal, la opción de una máquina de propósito general sería un taladro manual sencillo. En el caso de un propósito especial, una opción sería una máquina perforadora. Con la debida preparación, la perforadora hace los orificios más rápido que el taladro. Las diferencias entrañan el costo del equipo (el taladro manual es barato y la perforadora es costosa), el tiempo para preparar la máquina (el del taladro manual es breve, mientras que la perforadora tarda más), y el tiempo por unidad (el taladro manual es lento y la perforadora es rápida).

Un enfoque común para elegir entre diversos procesos o equipo es el *análisis del punto de equilibrio*. Una gráfica del punto de equilibrio presenta de modo visual las distintas pérdidas y ganancias que se derivan del número de unidades producidas o vendidas. La elección depende, obviamente, de la demanda anticipada. El método es más conveniente cuando los procesos y el equipo implican una cuantiosa inversión inicial y costo fijo, y también cuando los costos variables guardan una proporción razonable con el número de unidades producidas.

Tutorial: Análisis del punto de equilibrio

Paso por paso

EJEMPLO 6.1: Análisis del punto de equilibrio

Suponga que un fabricante identifica las opciones siguientes para obtener una pieza maquinada: puede comprar la pieza a 200 dólares por unidad (materiales incluidos); puede hacer la pieza en un torno semiautomático controlado numéricamente a 75 dólares por unidad (materiales incluidos) o puede fabricar la pieza en un centro de maquinado a 15 dólares por unidad (materiales incluidos). Los costos fijos son prácticamente nulos si se compra la pieza; un torno semiautomático cuesta 80 000 dólares, y un centro de maquinado, 200 000 dólares.

El costo total de cada opción es

Costo de compra = \$200 × Demanda

Costo por producir con torno = \$80 000 + \$75 × Demanda

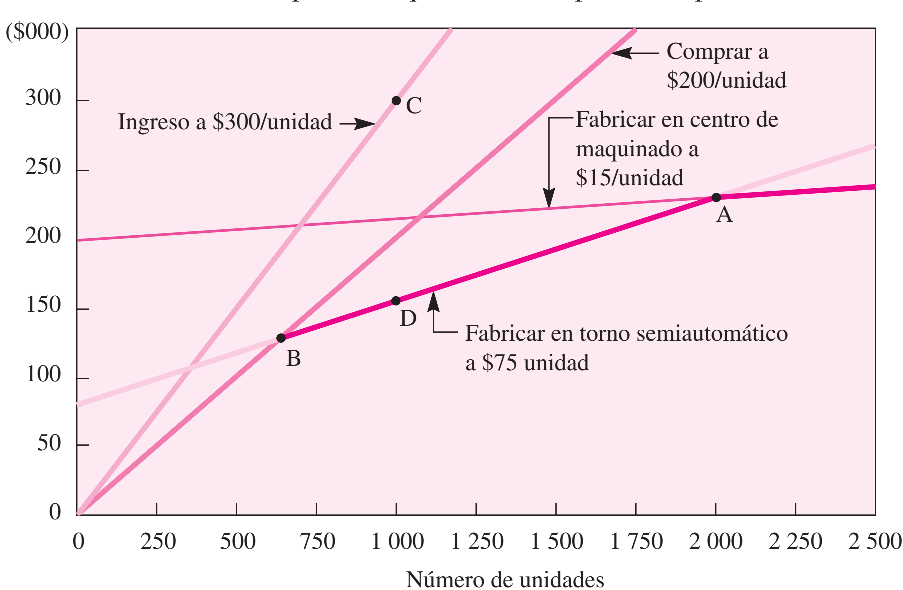
Costo por producir con centro de maquinado = \$200 000 + \$15 × Demanda

Solución

En realidad no importa si la solución se aborda desde el punto de vista de reducir costos o de maximizar utilidades, en tanto las relaciones sean lineales; es decir, mientras los costos variables y los ingresos de cada unidad que se incrementan sean iguales. La ilustración 6.3 muestra el punto de equilibrio de cada proceso. Si se espera que la demanda sea superior a 2 000 unidades (punto A), el centro de maquinado será la mejor

Excel: Análisis del punto de equilibrio

ILUSTRACIÓN 6.3 Gráfica del punto de equilibrio entre opciones de procesos.



opción porque daría el costo total más bajo. Advierta que justo en el punto A (2 000 unidades) no hay diferencia entre el centro de maquinado o el torno semiautomático. Si la demanda está entre 640 (punto B) y 2 000 unidades, entonces el torno semiautomático es lo más barato. En el punto B no hay diferencia entre el torno semiautomático o comprar la pieza. Si la demanda es inferior a 640 (entre 0 y el punto B), lo más económico es comprar el producto.

El cálculo del punto de equilibrio A es

$$\$80\,000 + \$75 \times \text{Demanda} = \$200\,000 + \$15 \times \text{Demanda}$$

$$\text{Demanda (punto A)} = 120\,000/60 = 2\,000 \text{ unidades}$$

El cálculo del punto de equilibrio B es

$$\$200 \times \text{Demanda} = \$80\,000 + \$75 \times \text{Demanda}$$

$$\text{Demanda (punto B)} = 80\,000/125 = 640 \text{ unidades}$$

Considere el efecto de los ingresos si se supone que la pieza tiene un precio de venta de 300 dólares por unidad. Como muestra la ilustración 6.3, la ganancia (o pérdida) es la distancia entre la línea de ingresos y el costo del otro proceso. Por ejemplo, con 1 000 unidades, la utilidad máxima es la diferencia entre el ingreso de 300 000 dólares (punto C) y el costo de 155 000 dólares del torno semiautomático (punto D). En el caso de esta cantidad, el torno semiautomático es la opción disponible más barata. Las opciones óptimas para reducir costos y maximizar utilidades son los segmentos de las líneas del origen a B, a A, y a la derecha de la ilustración 6.3, como se muestra en verde. ●

Diseño de un sistema de producción

Existen numerosas técnicas para determinar los diseños reales de un proceso de producción. Esta sección es un rápido repaso de cómo se manejan los problemas. Por cada tipo de diseño se dan descripciones de cómo se representan y los criterios principales para hacerlo. En la siguiente sección se estudia más a fondo el diseño del flujo de un proceso.

Diseño de un proyecto

Al crear el diseño de un producto, imaginemos el producto como la maza o centro de una rueda, con materiales y equipo acomodados en forma concéntrica alrededor del punto de producción en el orden de uso y dificultad de movimiento. Así, al construir un avión comercial, por ejemplo, los remaches en toda la construcción estarían muy cerca del fuselaje o en su interior; las piezas de maquinaria pesada, que deben pasar al fuselaje solo una vez, se colocarían en un lugar un poco más alejado; y se instalarían grúas cerca del fuselaje debido a su constante uso.

Diseño de un proyecto.

En el diseño de un proyecto es común un alto grado de orden en el trabajo. Como este orden del trabajo determina las etapas de producción, el diseño de un proyecto puede perfeccionarse al acomodar los materiales de acuerdo con su prioridad de ensamble. Es de esperarse este procedimiento en diseños de máquinas-herramienta grandes, como troqueladoras, donde la manufactura sigue una secuencia rígida; el ensamble se ejecuta por completo, y las piezas se agregan a la base casi como si fueran materiales de construcción.

Centros de trabajo

El método más común de perfeccionar este tipo de diseño es colocar los centros de trabajo de modo que se optimice el movimiento de materiales. A veces un centro de trabajo se conoce como departamento, y

Centros de trabajo.

se concentra en un tipo particular de operación. Algunos ejemplos son un centro de trabajo para taladrar agujeros, otro para ejecutar operaciones de esmerilado y un área de pintura. Los centros de trabajo de una fábrica de juguetes de bajo volumen pueden consistir en enviar y recibir, coser y pintar, moldear metales, coser y pintar. Las piezas de los juguetes se fabrican en estos centros de trabajo y luego se envían al centro de trabajo de ensamble, donde se arman. En numerosas instalaciones, una colocación óptima significa poner centros de trabajo con grandes cantidades de tráfico interdepartamental adyacentes entre sí.

Celda de manufactura.

CELDA DE MANUFACTURA

Se forma una celda de manufactura si se asignan máquinas diferentes a celdas diseñadas para trabajar en productos con formas y necesidades de procesamiento semejantes. Se utilizan celdas de manufactura en la industria metalmecánica, manufactura de módulos para computadora y en labores de ensamble.

Línea de ensamble.

DISEÑOS DE LÍNEA DE ENSAMBLE Y PROCESO CONTINUO

Una línea de ensamble es un diseño con el propósito especial de construir un producto que pasa por un conjunto progresivo de pasos. Los pasos de ensamble se ejecutan en áreas conocidas como "estaciones", que suelen estar unidas por alguna forma de aparato de manejo de material. Además, por lo general hay algún modo de manejar el tiempo permitido en cada estación. Más que perfeccionar el proceso para diseñar el ensamble, aquí dedicaremos toda la sección siguiente de este capítulo al tema del diseño de una línea de ensamble, pues estos diseños son comunes en empresas de manufactura de todo el mundo. Un proceso continuo o de flujo es similar a una línea de ensamble, excepto que el producto se mueve continuamente por el proceso. Es frecuente que el producto fabricado en el proceso continuo sea un líquido o un producto químico que en realidad "fluye" por el sistema; este es el origen del término. Una refinería de gasolina es un buen ejemplo de un proceso de flujo.

Diseño de flujo de procesos en manufactura

El diseño de flujo de procesos en manufactura es un método para evaluar los procesos específicos a que se someten las materias primas, piezas y subensambles a su paso por la planta. Los instrumentos de administración de producción más comunes para planear y diseñar el flujo de los procesos son los planos de la pieza, gráficas de ensamble, hojas de ruta y gráficas de flujo del proceso. Cada una de estas gráficas es un instrumento de diagnóstico muy útil para mejorar las operaciones durante el estado estable del sistema de producción. De hecho, por lo general el primer paso para analizar todo sistema de producción es representar los flujos y las operaciones mediante una o varias de estas técnicas. Son como los "organigramas" del sistema de manufactura.

El *plano de la pieza* (ilustración 6.4) no es otra cosa que una imagen ampliada del producto que muestra las partes que la componen. Una *gráfica de ensamble* (ilustración 6.5) utiliza la información del plano de la pieza y define (entre otras cosas) cómo deben colocarse las piezas, el orden para armarlas y, muchas veces, un esquema del flujo general de los materiales.[1] La *hoja de ruta y operaciones* (ilustración 6.6), como su nombre indica, detalla la ruta del proceso y las operaciones que corresponden a una pieza particular. Presenta la información relativa al tipo de equipo, herramientas y operaciones que se necesitan para fabricar la pieza.

Una *gráfica de flujo del proceso*, como la de la ilustración 6.7, expone lo que sucede con el producto conforme pasa por las instalaciones productivas. Recuerde que en el capítulo 5 se habló

[1] También llamada *gráfica Gozinto*, en honor, según reza la leyenda, del famoso matemático italiano Zepartzat Gozinto.

ILUSTRACIÓN 6.4 Plano de un conector mecánico.

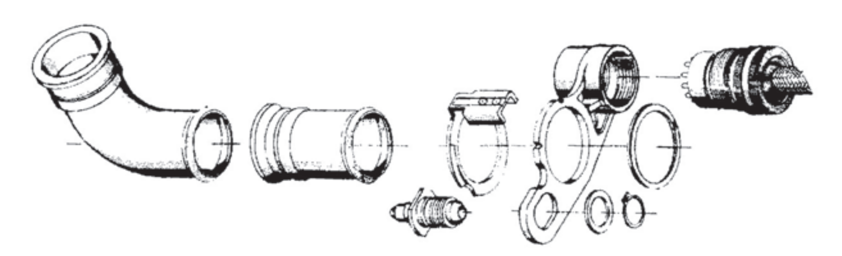


ILUSTRACIÓN 6.5 Gráfica de ensamble (o Gozinto) de un conector mecánico.

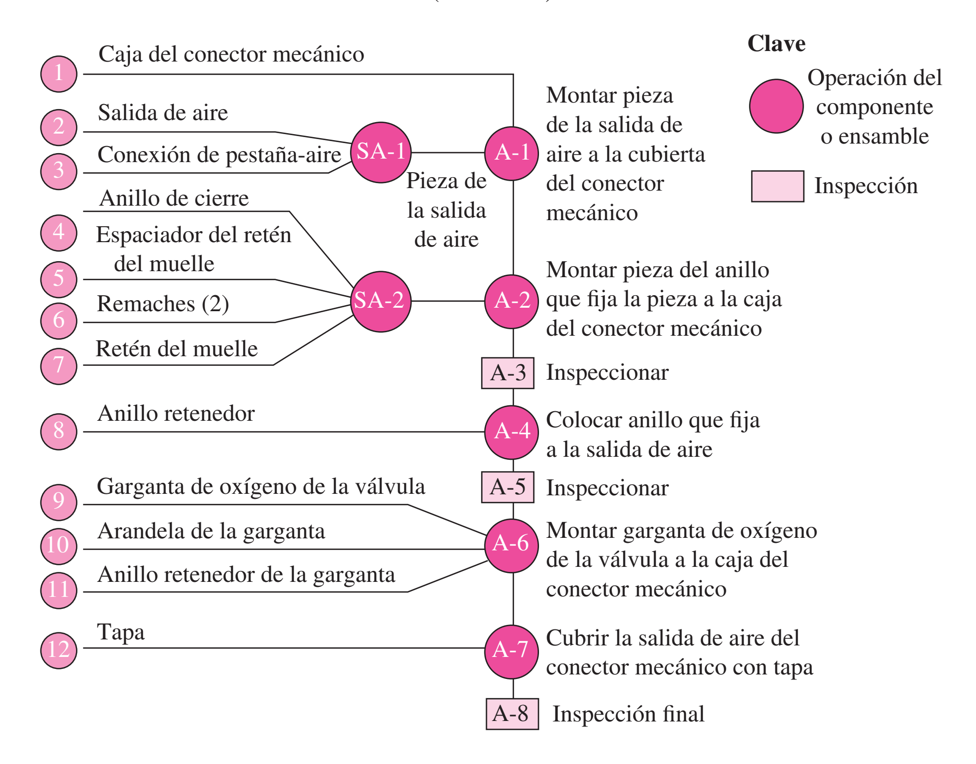
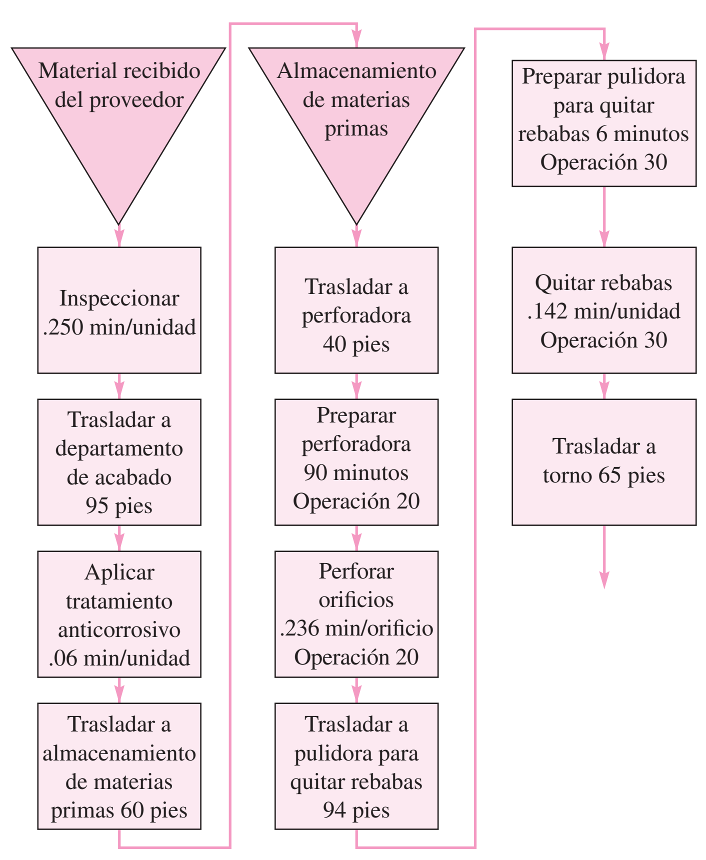


ILUSTRACIÓN 6.6 Hoja de ruta y operaciones de un conector mecánico.

Material Specs	Part Name Plug Housing	Part No. TA 1274
Purchased Stock Size	Usage Plug Assembly	Date Issued
Pcs. Per Pur Size	Assy. No. TA 1279	Date Supplied
Weight	Sub.Assy. No.	Issued By

Oper. No.	Operation Description	Dept.	Machine	Setup Hr.	Rate Pc. Hr.	Tools
20	Drill hole $.32^{+.015}_{-.005}$	Drill	Mach. 513 Drill	1.5	254	Drill fixture L-76 Jig # 10393
30	Deburr $.312^{+.015}_{-.005}$ dia. hole	Drill	Mach. 510 Drill	.1	424	Multitooth burring tool
40	Chamfer .009/875. bore .878/.875 dia (2 passes). bore .7600/7625 (1 pass)	Lathe	Mach. D 109 lathe	1.0	44	Ramet-1, TPG 221, chamfer tool
50	Tap hole as designated 1/4 min. full thread	Tap	Mach. 517 drill tap	2.0	180	Fixture #CR-353 tap. 4 Flute sp.
60	Bore hole 1.33 to 1.138 dia.	Lathe	H&H E107	3.0	158	L44 turret fixture Hartford
						Superspacer, pl. #45 holder #L46
						FDTW-100, insert #21 chk. fixture
70	Deburr .005 to.010 both sides, hand feed to hard stop	Lathe	E162 lathe	.3	175	Collect CR #179 1327 RPM
80	Broach keyway to remove thread burrs	Drill	Mach. 507 drill	.4	91	B87 fixture, L59 broach tap. .875120 G-H6
90	Hone thread I.D. .822/ .828	Grind	Grinder	1.5	120	
95	Hone .7600/ .7625	Grind	Grinder	1.5	120	

ILUSTRACIÓN 6.7 Gráfica de flujo del proceso de la caja del conector mecánico (parcial).



de las gráficas de flujo. El interés central del análisis de una operación manufacturera debe ser identificar las actividades que se pueden aligerar o eliminar, como traslados y almacenaje durante el proceso. Por lo general, cuanto menor sea la cantidad de traslados, demoras y almacenajes durante el proceso, tanto mejor será su flujo.

EJEMPLO 6.2: Análisis del proceso de manufactura

Paso por paso

Recuerde que en el capítulo 5 se vio que un proceso suele incluir 1) un conjunto de *actividades*, 2) un *flujo* de materiales e información que conecta al conjunto de actividades y 3) *almacenamiento* de materiales e información.

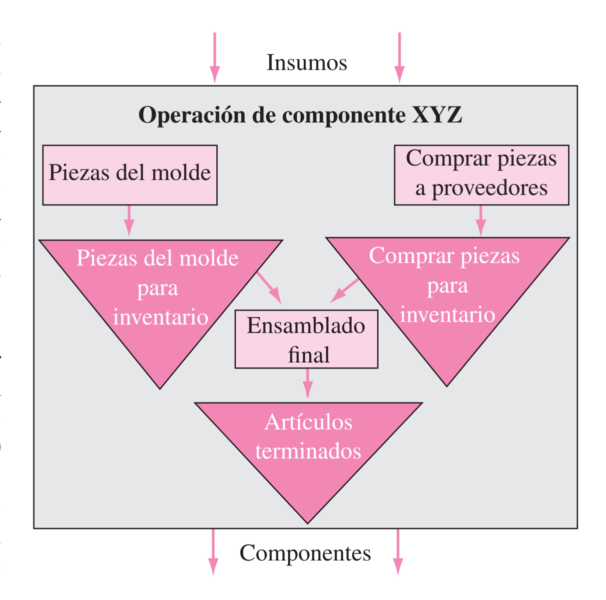
1. Cada actividad de un proceso transforma en cierta medida los insumos en el producto deseado.
2. El flujo en un proceso incluye el flujo de materiales y también de información. El flujo de materiales traslada el producto de una actividad a la siguiente. Con el flujo de información se determina la medida de la transformación que se ha realizado en la actividad anterior y la cantidad exacta que resta por efectuarse en la actividad presente.
3. Cuando no se desempeña una actividad ni se transforma una pieza, debe almacenarse. Los bienes almacenados, en espera de procesarse en la actividad siguiente, se suelen llamar *inventario de trabajo en proceso.*

El análisis de los procesos implica adaptar las capacidades y equilibrar las distintas partes del proceso para maximizar la producción o reducir costos, dados los recursos disponibles. La empresa de este ejemplo suministra un componente a varios fabricantes grandes de automóviles. Este componente se arma en un taller que cuenta con 15 trabajadores, que laboran un turno de ocho horas en una línea de ensamble que se mueve con un ritmo de 150 componentes por hora. Se paga a los trabajadores en forma de incentivo de grupo, el cual suma 30 centavos por cada pieza buena terminada. El pago se reparte equitativamente entre los trabajadores. La gerencia piensa que, de ser necesario, podría contratar a 15 trabajadores más para un segundo turno.

Las piezas que componen el ensamble final provienen de dos fuentes. El departamento de moldeado fabrica una pieza crítica y las restantes provienen de proveedores externos. Se cuenta con 11 máquinas capaces de moldear la pieza fabricada internamente, pero por lo general siempre hay una máquina que está en afinación o reparación en un momento dado. Cada máquina requiere un operador de tiempo completo y produce 25 piezas por hora. Además, los trabajadores reciben una remuneración individual de 20 centavos por cada pieza buena. Cuando los operadores trabajan horas extra reciben un incremento de 50%, o 30 centavos por pieza buena. La mano de obra del moldeado es flexible y, en la actualidad, solo seis trabajadores desempeñan esta actividad. Dentro del grupo de trabajadores de la empresa hay otros cuatro disponibles. El costo de las materias primas por cada pieza moldeada es de 10 centavos por unidad, y un análisis detallado realizado por el departamento de contabilidad concluye que la fabricación de cada pieza consume 2 centavos de electricidad. Las piezas compradas para cada componente final producido cuestan 30 centavos.

Un edificio alquilado, que cuesta 100 dólares por semana, aloja la operación completa. Los empleados de supervisión, mantenimiento y oficina ganan 1 000 dólares semanales. El departamento de contabilidad descuenta la depreciación del equipo de esta operación a razón de $50 por semana.

El diagrama de flujo de la derecha describe este proceso. Las actividades se presentan en forma de rectángulos, y el almacenamiento de bienes (inventarios), en forma de triángulos.



Solución

a) ***Determine la capacidad (número de componentes producidos por semana) de todo el proceso. ¿Están equilibradas las capacidades del proceso entero?***

Capacidad del proceso de moldeado:

Sólo se contrató a seis trabajadores para el proceso de moldeado, cada uno de ellos como operario de tiempo completo de una máquina. Por tanto, en la actualidad, sólo operan seis de las 11 máquinas.

Capacidad de moldeado = 6 máquinas × 25 piezas por hora por máquina × 8 horas por día × 5 días por semana = 6 000 piezas por semana

Capacidad del proceso de ensamble:

Capacidad de ensamble = 150 componentes por hora × 8 horas por día × 5 días por semana = 6 000 componentes por semana

Como la capacidad de las dos actividades es de 6 000 unidades por semana, sí están equilibradas.

b) ***Si el proceso de moldeado utilizara 10 máquinas en lugar de seis y no se altera la actividad final de ensamble, ¿cuál sería la capacidad de todo el proceso?***

Capacidad de moldeado con 10 máquinas:

Capacidad de moldeado = 10 máquinas × 25 piezas por hora por máquina × 8 horas por día × 5 días por semana = 10 000 piezas por semana

Como no se alteró en absoluto la actividad del ensamble final, la capacidad del proceso de ensamble es aún de 6 000 componentes por semana. Por tanto, aunque la capacidad de moldeado es de 10 000 por semana, la capacidad del proceso entero es tan solo de 6 000 por semana, porque a la larga la capacidad global no excede a la actividad más lenta.

c) ***Si la empresa optara por un segundo turno de ocho horas más en la tarea de ensamble, ¿cuál sería la nueva capacidad?***

Un segundo turno en la tarea de ensamble:

Como se calculó en el inciso anterior, la capacidad de moldeado es de 10 000.

Capacidad de ensamble = 150 componentes por hora × 16 horas por día × 5 días por semana = 12 000 componentes por semana

En este caso, si bien la capacidad de ensamble es de 12 000 por semana, la capacidad del proceso entero aún es de 10 000 por semana porque, ahora, la actividad más lenta es el proceso de moldeado, el cual tiene una capacidad de 10 000 por semana. Por tanto, cabe señalar que la capacidad de un proceso no es un factor

constante, sino que depende de la disponibilidad de insumos y la secuencia de las actividades. De hecho, depende también de otros factores que no se mencionan aquí.

d) ***Determine el costo por unidad de producto cuando la capacidad es de (1) 6 000 por semana o (2) 10 000 por semana.***

(1) Costo por unidad cuando la producción por semana = 6 000

Primero se calcula el costo de producción de las 6 000 piezas por semana:

Rubro	Cálculo	Costo
Materias primas para moldeado	$0.10 por pieza × 6 000 =	$600
Piezas compradas	$0.30 por componente × 6 000 =	1 800
Electricidad	$0.02 por pieza × 6 000 =	120
Mano de obra de moldeado	$0.20 por pieza × 6 000 =	1 200
Mano de obra de ensamble	$0.30 por pieza × 6 000 =	1 800
Renta	$100 por semana	100
Supervisión	$1 000 por semana	1 000
Depreciación	$50 por semana	50
Costo total		$6 670

$$\text{Costo por unidad} = \frac{\text{Costo total por semana}}{\text{Cantidad de unidades producidas por semana}} = \frac{\$6\ 670}{6\ 000} = \$1.11$$

(2) Costo por unidad cuando la producción por semana = 10 000

A continuación se calcula el costo de producir las 10 000 piezas por semana:

Rubro	Cálculo	Costo
Materias primas para moldeado	$0.10 por pieza × 10 000 =	$1 000
Piezas compradas	$0.30 por componente × 10 000 =	3 000
Electricidad	$0.02 por pieza × 10 000 =	200
Mano de obra de moldeado	$0.20 por pieza × 10 000 =	2 000
Mano de obra de ensamble	$0.30 por pieza × 10 000 =	3 000
Renta	$100 por semana	100
Supervisión	$1 000 por semana	1 000
Depreciación	$50 por semana	50
Costo total		$10 350

$$\text{Costo por unidad} = \frac{\text{Costo total por semana}}{\text{Cantidad de unidades producidas por semana}} = \frac{\$10\ 350}{10\ 000} = \$1.04$$

Es evidente que el costo por unidad disminuye porque el costo fijo se reparte entre un número mayor de unidades.

Estos cálculos del análisis del proceso son necesarios para muchas decisiones de producción que se analizan en este libro. ●

Resumen

Diseñar un producto que complazca al cliente es todo un arte. Fabricar el producto es una ciencia. Llevar el producto desde el diseño hasta el cliente es administración. Los fabricantes de clase mundial son excelentes para lograr una integración expedita y flexible de estos procesos. Una clave para hacerlo es el trabajo en equipo, no solo de marketing, desarrollo de productos, producción y distribución, sino también por parte del proveedor y el cliente.

La planeación eficaz de un proceso requiere comprender con claridad lo que la fábrica es capaz de hacer o no en relación con las estructuras de los procesos. Muchas plantas combinan las estructuras identificadas en este capítulo: talleres o centros de trabajo para algunas piezas, operaciones por lotes o de ensamble para otras. Con frecuencia es preciso tomar una decisión respecto del momento en que la demanda parece indicar el cambio de una a otra. Para tomar estas

decisiones también es preciso conocer los detalles de cada proceso de producción y determinar así si en verdad se ajusta a las nuevas especificaciones de los productos. En el quehacer diario, es necesario analizar en forma sistemática la envergadura de la capacidad de cada paso del proceso, como se hizo en este capítulo.

Por último, está la cuestión de la tecnología. Aunque los detalles de los procesos de manufactura constituyen el mundo de la ingeniería, conocer las tecnologías modernas (sobre todo la manufactura asistida por computadora) ahora se considera parte esencial de los estudios de administración. En el suplemento B, "Tecnología de operaciones", se explica este tipo de producción (CIM por sus iniciales en inglés) y otras tecnologías para las operaciones.

Conceptos clave

Tiempo de espera del cliente Tiempo necesario para responder al pedido de un cliente.

Punto de desacoplamiento del pedido de un cliente Lugar donde se ubica el inventario para permitir que los procesos o entidades de la cadena de suministro operen de manera independiente.

Fabricar para existencias Ambiente de producción en el que se atiende al cliente "por petición" con artículos del inventario de bienes terminados.

Ensamblar por pedido Ambiente de producción en el que los componentes, partes y módulos, todos ellos ensamblados de antemano, se arman en respuesta al pedido específico de un cliente.

Fabricar por pedido Ambiente de producción en el que el producto se elabora directamente a partir de materias primas y componentes en respuesta al pedido específico de un cliente.

Diseño a la orden Aquí, la empresa trabaja con el cliente para diseñar el producto, que después se elabora con materiales, piezas y componentes comprados.

Manufactura esbelta Es el intento por alcanzar altos niveles de servicio al cliente con mínimos niveles de inversión en inventario.

Distribución por proyecto El producto, en razón de su volumen o peso, permanece fijo en un lugar. El equipamiento se lleva al producto y no a la inversa.

Centro de trabajo Estructura de un proceso que resulta ideal para producir un volumen bajo de una gran variedad de productos no estandarizados. En ocasiones se dice que los centros de trabajo son departamentos y estos se concentran en un tipo particular de operación.

Celda de manufactura Área donde se producen bienes sencillos con requerimientos similares para su procesamiento.

Línea de ensamble Estructura de proceso diseñada para fabricar piezas separadas. Las piezas pasan, con un ritmo controlado, por un conjunto de estaciones de trabajo que tienen un diseño especial.

Proceso continuo Un proceso, muchas veces automatizado, que transforma las materias primas en productos terminados en un proceso continuo.

Matriz de procesos y productos Muestra las relaciones entre diferentes unidades de producción y la forma como se usan según el volumen que se produzca y el grado de estandarización de los productos.

Problemas resueltos

Problema resuelto 1

Un fabricante de automóviles considera cambiar la línea de ensamble para ahorrar dinero en virtud de la disminución de costos de trabajo y materiales. El cambio implica la instalación de cuatro nuevos robots que instalan parabrisas en forma automática. El costo de los cuatro robots, con instalación y programación inicial, es de 400 000 dólares. Lo común es amortizar el costo inicial de los robots en un plazo de dos años consecutivos. El ingeniero de procesos estima que se necesitará un técnico de tiempo completo para vigilar, mantener y reprogramar los robots permanentemente. Esta persona percibirá unos 60 000 dólares al año. En la actualidad, la compañía tiene a cuatro empleados de tiempo completo en esta labor, y cada uno gana alrededor de 52 000 dólares al año. Uno de estos empleados se encarga de manejar los materiales y se necesitarán sus servicios con el nuevo proceso. Para complicar las cosas, el ingeniero de procesos estima que los robots aplicarán el sellador de los parabrisas de modo que producirá un ahorro de 25 centavos de dólar por parabrisas instalado. ¿Cuántos automóviles se deben producir en los próximos dos años para que los nuevos robots resulten una inversión atractiva? En razón de que el horizonte de tiempo es relativamente breve, no tome en cuenta el valor del dinero en el tiempo.

Solución

El costo del proceso actual durante los próximos dos años será tan solo el costo de cuatro empleados de tiempo completo.

$$\$52\,000/\text{empleado} \times 4 \text{ empleados} \times 2 \text{ años} = \$416\,000$$

El costo del nuevo proceso durante los próximos dos años, si se supone que el costo del robot se cubre por completo en ese plazo, es:

($52 000/empleado que maneja el material + $60 000/técnico) × 2 + $400 000/robots − $0.25 × automóviles

La ecuación de las dos opciones es:

$$\$416\,000 = \$624\,000 - \$0.25 \times \text{automóviles}$$

El punto de equilibrio será:

$$-\$208\,000/-\$0.25 = 832\,000 \text{ automóviles}$$

Esto indica que para llegar al punto de equilibrio sería necesario producir 832 000 automóviles con los robots en el transcurso de los próximos dos años.

Problema resuelto 2

Un fabricante tiene un contrato con un cliente para elaborar un producto compuesto por dos piezas, un cable con conexiones RCA estándar y otro con un minienchufe, mismos que después empaca juntos en forma de un solo producto final (cada producto que vende contiene un cable RCA y otro con un minienchufe). El fabricante produce los dos cables en la misma línea de ensamble y solo fabrica uno de ellos a la vez: cables RCA o cables con minienchufes. El cambio de la línea de un cable a otro implica cierto tiempo de preparación. El costo de operación de la línea de ensamble es de $500/hora, y cuesta esta cantidad ya sea que la máquina esté en preparación o en realidad fabricando cables.

Los planes presentes son fabricar 100 unidades de cables RCA, después 100 unidades de cables con minienchufe, luego 100 unidades de cables RCA, después 100 unidades de cables con minienchufe, y así sucesivamente, y los tiempos de preparación y de actividad de cada tipo de cable son:

Componente	Tiempo de preparación/cambio	Tiempo de operación/unidad
Cable RCA	5 minutos	0.2 minutos
Cable con minienchufe	10 minutos	0.1 minutos

Suponga que el empacado de los dos cables está totalmente automatizado y solo tarda dos segundos por unidad de producto final, y que la actividad se efectúa por separado de la línea de ensamble. Como el paso del empacado es rápido y el tiempo que requiere no depende del tamaño del lote de la línea de ensamble, su costo no varía y no es necesario considerarlo en el análisis.

¿Cuál es la producción promedio por hora en términos del número de unidades de producto empacadas (que incluyen un cable RCA y un cable con minienchufe)? ¿Cuál es el costo promedio del ensamble del producto por unidad? Si se cambiara el tamaño del lote de 100 a 200 unidades, ¿qué efecto tendría en el costo de ensamble por unidad?

Solución

El tiempo promedio de la producción por hora cuando el tamaño del lote es de 100 unidades se calcula al obtener primero el tiempo total para producir un lote de cable. El tiempo está compuesto por el tiempo de preparación + el tiempo de operación de un lote:

$$5 + 10 + 0.2(100) + 0.1(100) = 15 + 30 = 45 \text{ minutos/100 unidades}$$

Por tanto, si se producen 100 unidades en 45 minutos, se tendrán que calcular cuántas unidades se producen en 60 minutos; esta cifra se obtiene con la proporción siguiente:

$$45/100 = 60/X$$

Se despeja X:

$$X = 133.3 \text{ unidades/hora}$$

Así, el costo por unidad es:

$$\$500/133.3 = \$3.75/\text{unidad}$$

Si se incrementa el lote a 200 unidades:

$$5 + 10 + 0.2(200) + 0.1(200) = 15 + 60 = 75 \text{ minutos/200 unidades}$$
$$75/200 = 60/X$$
$$X = 160/\text{hora}$$
$$\$500/160 = \$3.125/\text{unidad}$$

Preguntas de repaso y análisis

1. ¿Qué indica una matriz de procesos y productos? ¿Cómo debe estructurarse la cocina de un restaurante chino?
2. Se ha señalado que, en la Segunda Guerra Mundial, Alemania cometió un error crítico cuando encargó la producción de sus formidables tanques Tiger a fabricantes de locomotoras, mientras que la producción del tanque estadounidense Sherman, menos formidable, corrió a cargo de fabricantes estadounidenses de automóviles. Con una matriz de productos y procesos explique ese error y su probable resultado.
3. ¿Cómo afecta el volumen de producción al análisis del punto de equilibrio?
4. ¿Qué quiere decir proceso? Describa sus características importantes.

Problemas

1. Owen Conner trabaja medio tiempo empacando software en una empresa de distribución local en Indiana. El costo fijo anual de este proceso es de 10 000 dólares, el costo de la mano de obra directa es de 3.50 dólares por paquete y el del material es de 4.50 dólares por paquete. El precio de venta será de 12.50 dólares por paquete. ¿Cuántos ingresos se tendrán que captar antes de salir a mano? ¿Cuál es el punto de equilibrio en unidades?
2. AudioCables, Inc., fabrica un adaptador con un costo variable de 0.50 dólares por unidad y un precio de venta de 1.00 dólares por unidad. Los costos fijos son de 14 000 dólares. El volumen actual de ventas es de 30 000 unidades. La empresa puede mejorar sustantivamente la calidad del producto si adquiere una nueva pieza de equipamiento que implica un costo fijo adicional de 6 000 dólares. Los costos variables subirían a .60 dólares, pero el volumen de ventas tendría que ascender a 50 000 unidades porque se trata de un producto de mejor calidad. ¿AudioCables debe comprar el nuevo equipamiento?
3. Piense en la producción de un sencillo marco de madera de 8” × 10” para fotografías. El marco consta de cuatro piezas de madera cortadas por una máquina, cuatro grapas para sujetar el marco, una pieza de vidrio, una cara trasera de cartón, seis lengüetas para sostener el vidrio y el cartón a la parte posterior del marco y una arandela para colgarlo de la pared.
   a) Trace una gráfica de ensamble del marco para fotografías.
   b) Prepare una gráfica de flujo de todo el proceso, desde la recepción de los materiales hasta la inspección final.
4. El propósito de este ejercicio de diseño de sistemas es adquirir experiencia para preparar un proceso de manufactura. (Se sugiere que se resuelva como proyecto de equipo.) Tarea:
   a) Consiga una raqueta de tenis de mesa.
   b) Especifique el tipo de equipo y materias primas que necesita para fabricar la raqueta, desde la recepción de madera estufada hasta el empaque para su envío.
   c) Suponga que dispone de una unidad de cada tipo de equipo. Además suponga que cuenta con las existencias de madera estufada y otros materiales necesarios para producir y empacar 100 raquetas.
   A partir de supuestos razonables respecto de los tiempos y las distancias en caso necesario:
   1. Trace el ensamble de la raqueta.
   2. Prepare una gráfica de ensamble de la raqueta.
   3. Cree una gráfica de flujo del proceso para la raqueta.
   4. Elabore una hoja de ruta de la raqueta.
5. Goodparts Company produce un componente que se utiliza después en la industria aeroespacial. El componente tiene tres piezas (A, B y C) compradas y cuestan, respectivamente, 40, 35 y 15 centavos de dólar. Las piezas A y B primero se arman en la línea 1, la cual produce 140 componentes por hora. La pieza C, antes de armarse al final con el producto de la línea de ensamble 1, pasa por una operación de perforación. La compañía tiene un total de seis perforadoras, pero en la actualidad solo tres están en condición de operar. Cada máquina perfora la pieza C con un ritmo de 50 piezas por hora. En el ensamble final, el producto de la línea de ensamble 1 se arma con la pieza perforada C. La línea de ensamble final produce con un ritmo de 160 componentes por hora. En la actualidad, los componentes se producen ocho horas al día y cinco días a la semana. La gerencia piensa que en caso necesario puede aumentar un segundo turno de ocho horas a las líneas de ensamble.

   El costo de la mano de obra es de 30 centavos por pieza en cada línea de ensamble; el costo de la mano de obra para perforación es de 15 centavos de dólar por pieza. En el caso de la perforación, el costo de la electricidad es de un centavo por pieza. Se calcula que el costo total de los gastos fijos es de 1 200 dólares por semana. Se estima que el costo de la depreciación del equipamiento es de 30 dólares semanales.

a) Trace un diagrama de flujo de proceso y determine la capacidad de procesamiento (número de componentes producidos por semana) de todo el proceso.

b) Suponga que se contrata a un segundo turno de ocho horas para operar la línea de ensamble 1 y que se hace lo mismo con la línea final de ensamble. Además, entran en operación cuatro de las seis perforadoras. No obstante, las perforadoras solo operan ocho horas al día. ¿Cuál es la nueva capacidad del proceso (número de componentes producidos por semana)? ¿Cuál de las tres operaciones limita la capacidad?

c) La gerencia decide contratar un segundo turno de ocho horas para la línea de ensamble 1 y un segundo turno de solo cuatro horas para la línea final de ensamble. Cinco de las seis perforadoras operan ocho horas al día. ¿Cuál es la nueva capacidad? ¿Cuál de las tres operaciones limita la capacidad?

d) Determine el costo por unidad de producto en los incisos *b*) y *c*).

e) El producto se vende a 4.00 dólares por unidad. Suponga que el costo de una perforadora (costo fijo) es de 30 000 dólares y que la empresa produce 8 000 unidades por semana. Suponga también que se utilizan cuatro perforadoras para la producción. Si la empresa tuviera la opción de comprar la misma pieza a 3.00 dólares por unidad, ¿cuál sería el número de unidades del punto de equilibrio?

6. Un editor de libros tiene costos fijos de 300 000 dólares y costos variables de 8.00 dólares por libro. El precio de venta del libro es de 23.00 dólares por ejemplar.

a) ¿Cuántos libros debe vender para llegar al punto de equilibrio?

b) Si el costo fijo aumentara, ¿el nuevo punto de equilibrio sería más alto o más bajo?

c) Si el costo variable por unidad bajara, ¿el nuevo punto de equilibrio sería más alto o más bajo?

7. Un proceso de manufactura tiene un costo fijo de 150 000 dólares mensuales. Cada unidad de producto fabricada contiene 25 dólares de materiales y requiere 45 dólares de mano de obra. ¿Cuántas unidades se necesitan para llegar al punto de equilibrio si cada unidad terminada tiene un valor de 90 dólares?

8. Suponga un costo fijo de 900 dólares, un costo variable de 4.50 dólares y un precio de venta de 5.50 dólares.

a) ¿Cuál es el punto de equilibrio?

b) ¿Cuántas unidades se deben vender para obtener una ganancia de 500.00 dólares?

c) ¿Cuántas unidades se deben vender para obtener una utilidad promedio de 0.25 dólares por unidad? ¿Una utilidad de 0.50 dólares por unidad? ¿Una utilidad de 1.50 dólares por unidad?

9. Aldo Redondo usa su automóvil para los viajes de trabajo de la empresa. Su empleador le reembolsa estos viajes a 36 centavos de dólar por milla. Aldo estima que sus costos fijos por año, como impuestos, seguros y depreciación, suman 2 052 dólares. Los costos directos o variables, como gasolina, aceite y mantenimiento, suman en promedio alrededor de 14.4 centavos de dólar por milla. ¿Cuántas millas debe recorrer para llegar al punto de equilibrio?

10. Una empresa vende dos productos, sillas y banquillos, a 50 dólares la unidad en los dos casos. Las sillas tienen un costo variable de 25 dólares y los banquillos de 20 dólares. Los costos fijos de la empresa suman 20 000 dólares.

a) Si la mezcla de ventas es de 1:1 (una silla por cada banquillo vendido), ¿cuál es el punto de equilibrio de las ventas en dólares? ¿Y en unidades de sillas y banquillos?

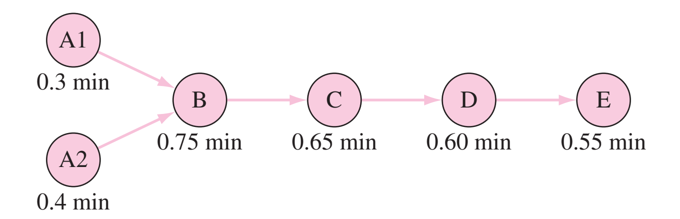
b) Si la mezcla de ventas cambia a 1:4 (una silla por cada cuatro banquillos vendidos), ¿cuál es el punto de equilibrio de las ventas en dólares? ¿Y en unidades de sillas y banquillos?

11. ¿Cómo caracterizaría usted la diferencia más importante en los asuntos siguientes cuando compara un taller de una actividad y un taller de flujo?

Asunto	Taller de actividad	Taller de flujo
Número de cambios de uno a otro		
Contenido de trabajo del producto		
Flexibilidad		

12. El diagrama siguiente representa un proceso en el cual dos componentes se fabrican en la estación A1 y en la A2 (un componente se fabrica en la A1 y el otro en la A2). Después, los componentes se arman en la estación B y pasan por el resto del proceso, en el que se realiza cierto trabajo adicional con las estaciones C, D y E.

Suponga que solo hay una persona en cada estación y que los tiempos que se presentan a continuación por cada estación representan la cantidad de trabajo que debe desempeñar la persona en esa estación, sin que varíe el tiempo de procesamiento. También suponga que no se permite que se forme inventario en el sistema.



¿Cuál es la producción promedio por hora del proceso cuando opera normalmente?

13. Un taller de grabado por encargo tradicionalmente maneja entre 1 y 50 unidades de lo que el cliente solicite. Una empresa grande contactó al taller para grabar placas de "reconocimiento" (prácticamente idénticas entre sí). Quiere que el taller presente una cotización de su pedido. Se espera que el volumen sea de 12 000 unidades anuales y quizá dure cuatro años. Para presentar una cotización fructífera del pedido (precio convenientemente bajo), ¿qué tiene que hacer el taller?

14. La matriz de procesos y productos es una manera conveniente de caracterizar la relación entre volúmenes de producto (de un tipo único a continuo) y el sistema de procesamiento de una empresa en una ubicación particular. Describa en los espacios siguientes la naturaleza de la intersección entre el tipo de dimensión de taller (columna) y de proceso (fila).

	Estación de trabajo	**Línea de ensamble**
Acento en ingeniería		
Habilidad de la mano de obra general		
Control estadístico del proceso		
Distribución de las instalaciones		
Nivel de inventario de trabajo en proceso		

15. En las variables siguientes, explique las diferencias generales a medida que se pasa del contexto de la estación de trabajo al de la línea de ensamble.
   a) Tiempo de procesamiento (tiempo para transformar las materias primas en productos).
   b) Intensidad de capital/trabajo.
   c) Cuellos de botella.

Caso: Circuit Board Fabricators, Inc.

Circuit Board Fabricators, Inc. (CBF), es un pequeño fabricante de tableros de circuitos con sede en California, cerca de San José. Empresas como Apple Computer y Hewlett-Packard contratan a la compañía a efecto de que fabrique tableros para prototipos de productos nuevos. Es importante que CBF brinde un servicio expedito y de gran calidad. Los ingenieros que trabajan en los nuevos productos tienen que ajustarse a calendarios muy apretados, y pierden la paciencia ante el trabajo descuidado o el incumplimiento de fechas de entrega.

Los tableros de circuitos son una superficie plana y rígida sobre la cual se montan componentes electrónicos. Los componentes electrónicos, como circuitos integrados, resistores, capacitores y diodos, van soldados a los tableros. Las líneas llamadas "trazos" se dibujan sobre el tablero y conectan electrónicamente los componentes. Como los trazos electrónicos no se pueden cruzar, los dos lados de los tableros se conectan mediante orificios en el tablero de circuitos, lo que permite instalar circuitos complejos. Estos tableros muchas veces tienen un diseño de 40 a 50 componentes conectados por cientos de trazos en un pequeño tablero de cuatro por seis pulgadas.

CBF preparó un buen plan de negocios. Tienen cuatro configuraciones de tamaño estándar para los tableros y automatizaron gran parte de su proceso para fabricar estos tableros estándar. La fabricación de los tableros requiere programar el equipo de control numérico (CN) de CBF. Se trata de un proceso muy automatizado que trabaja directamente a partir de planos de ingeniería formateados con los códigos estándar de la industria.

En la actualidad, el pedido común es de 60 tableros. Los ingenieros de las empresas cliente preparan un plano de los tableros mediante diseño asistido por computadora (CAD, por sus iniciales en inglés). El plano de CAD especifica con precisión cada trazo del circuito, los orificios para que pasen los circuitos y los puntos de ensamble de los componentes sobre el tablero. Un ingeniero de procesos de CBF utiliza una versión electrónica del plano para programar las máquinas de CN con que se fabrican los tableros.

Debido a las mermas del sistema, CBF tiene la política de incrementar 25% el tamaño del pedido. Por ejemplo, en el caso de un pedido habitual de 60 tableros, iniciaría 75 tableros para que pasen por el proceso. Por lo general, se rechaza 15% de los tableros en la inspección al principio del proceso de manufactura, y otro 5% de los tableros restantes, en la prueba final.

Proceso de fabricación de los tableros

CBF compra a un proveedor los tableros de circuitos en blanco, los cuales están hechos de un tejido de fibra de vidrio impregnado con resina epóxica. Ambos lados del tablero en blanco llevan un laminado de cobre. El proveedor surte los tableros en blanco cortados de acuerdo con los tamaños estándar que maneja el equipo de control numérico de CBF.

A continuación se describen los pasos para procesar un pedido en CBF:

1. **Aceptación del pedido.** Verificar si el pedido se ajusta a la especificación de los tableros que se producen con el equipamiento de CBF. El ingeniero de procesos de CBF trabaja con el ingeniero del cliente para resolver los problemas que pudieran surgir de un pedido.
2. **Programación de la máquina de CN.** Con la información del CAD se programan las máquinas para producir el pedido.
3. **Fabricación del tablero.**
   a) **Limpieza.** Un operario introduce manualmente cada tablero a esta máquina para que los limpie con un producto químico especial. Después, cada tablero se traslada automáticamente a la máquina que aplica el recubrimiento.
   b) **Recubrimiento.** La máquina aplica un recubrimiento plástico a las dos caras del tablero. Luego, un operario coloca los tableros en un carrito. Cada carrito que contiene un pedido completo de tableros se traslada de inmediato a la "sala de limpieza".
   c) **Exposición.** Este proceso fotográfico impide que el recubrimiento plástico expuesto se disuelva en las áreas donde se necesitan las líneas de cobre. Un operario debe estar en esta máquina todo el tiempo para introducir y sacar los tableros de uno en uno.
   d) **Revelado.** Cada tablero se introduce manualmente a esta máquina. La máquina sumerge los tableros, uno por uno, en una solución química que disuelve el plástico y el cobre subyacente en las áreas correspondientes. Después del baño, la máquina coloca cada tablero en una banda transportadora.
   e) **Inspección.** Cada tablero se retira de la banda conforme sale de la exposición. Con una máquina parecida a un escáner se efectúa una revisión óptica de la presencia de defectos. En este punto se rechaza alrededor de 15% de los tableros. Los que pasan la inspección se colocan de nuevo en la banda que alimenta el horno. En esta estación hay dos inspectores.
   f) **Horneado.** Los tableros pasan por un horno que endurece el recubrimiento plástico para proteger las líneas trazadas. Los tableros se descargan a mano y se depositan en un carrito. Cuando todos los tableros de un pedido están en el carrito, se traslada a las máquinas perforadoras.
   g) **Perforado.** Con una máquina de CN se hacen los orificios por donde se conectarán los circuitos en ambos lados del tablero. Los tableros se cargan y descargan manualmente. Las máquinas se colocan de modo que una persona tenga dos funcionando al mismo tiempo. De nuevo se trasladan los tableros en el carrito al baño de laminado con cobre.
   h) **Laminado con cobre.** Se deposita cobre en el interior de los orificios cuando los tableros pasan por un baño especial de laminado de cobre. Este cobre conecta las líneas trazadas en ambas caras del tablero. Cada tablero se deposita a mano sobre una banda que pasa por la tina del laminado. Se necesitan dos personas para este proceso, una que carga y otra que descarga la banda. Una vez terminado el laminado, los tableros se llevan en el carrito a las máquinas que hacen la prueba final.
   i) **Prueba final.** Con una máquina de CN especial se realiza una última prueba eléctrica a cada tablero para comprobar la integridad de los circuitos. Un promedio de 5% de los tableros, más o menos, no pasa la prueba. Los tableros se cargan y descargan manualmente. Se necesita una persona para operar cada máquina y separar los tableros aprobados de los rechazados. Los tableros buenos se transportan en el carrito al área de embarque. Los rechazados se raspan.
4. **Embarque.** El pedido terminado se embala y envía al cliente.

La planta se diseñó para producir 1 000 tableros diarios si trabaja cinco días a la semana y un turno de ocho horas diarias. Por desgracia, hasta hoy no se han acercado a esa capacidad y en un día bueno solo se llegan a producir alrededor de 700 tableros.

ILUSTRACIÓN 6.8 Circuit Board Fabricators. Datos del proceso.

Excel: Circuit Board Fabricators

Producto requerido por turno	1 000
Tamaño promedio de trabajo (tableros)	60
Horas de producción por día	7.5
Días hábiles por semana	5

Proceso/Máquina	Cantidad de máquinas	Cantidad de empleados	Preparación (minutos por trabajo)	Corrida (minutos por pieza)
Carga	1	1	5	0.33
Limpieza	1			0.5
Recubrimiento	1			0.5
Descarga	1	1		0.33
Exposición	5	5	15	1.72
Carga	1	1	5	0.33
Revelado	1			0.33
Inspección	2	2		0.5
Horneado	1			0.33
Descarga	1	1		0.33
Perforado	6	3	15	1.5
Laminado de cobre	1	2	5	0.2
Prueba final	6	6	15	2.69

La ilustración 6.8 presenta los datos sobre los tiempos estándar de preparación y operación de las máquinas para el proceso de fabricación. Estos tiempos incluyen tolerancias para descansos en la mañana y la tarde, pero no la media hora destinada a comer. También presenta los datos de los niveles actuales de personal. El ingeniero de procesos de CBF insiste en que la capacidad de cada proceso basta para producir 1 000 tableros al día.

Con el fin de comprender y resolver el problema, CBF contrató a un despacho de asesores.

Tarea

CBF lo contrató para que le ayude a encontrar el motivo por el cual la empresa no es capaz de producir 1 000 tableros diarios.

1. ¿Qué tipo de estructura de flujo del proceso aplica CBF?
2. Elabore un diagrama del proceso de modo semejante al que presenta la ilustración 6.7.
3. Analice la capacidad del proceso.
4. ¿Qué repercusiones tienen las mermas que registra el proceso en la inspección y en la prueba final?
5. ¿Qué solución de corto plazo recomendaría usted para los problemas de CBF?
6. ¿Qué recomendaciones de largo plazo haría?

Cuestionario

1. Una empresa que hace productos diseñados de antemano, directamente para satisfacer pedidos de clientes, tiene este tipo de ambiente de producción.
2. Punto donde se ubica el inventario para permitir que el proceso de producción opere con independencia del proceso de entrega del pedido al cliente.
3. Una empresa que diseña y fabrica productos desde el principio de acuerdo con especificaciones del cliente tendría este tipo de ambiente de producción.
4. Si un proceso de producción fabrica una unidad cada dos horas y la unidad tarda 42 horas en pasar por todo el proceso, entonces el trabajo esperado en proceso es igual a esto.
5. Un inventario de bienes terminados en promedio contiene 10 000 unidades. El promedio de demanda es de 1 500 unidades semanales. Como el proceso funciona 50 semanas al año, ¿cuál es la rotación esperada del inventario? Suponga que cada artículo que se lleva en existencia en inventario está valuado más o menos en la misma cantidad.
6. Diseño de producción conforme al cual se fabrican productos semejantes. Por lo general, se programa según sea necesario en respuesta a la demanda actual del cliente.
7. En este tipo de gráfica se describe la relación entre la forma como se adaptan mejor diferentes estructuras de diseño según el volumen y características de variedad del producto.

1. Fabricar por pedido 2. Punto de desacoplamiento del pedido de un cliente 3. Diseño a la orden 4. 21 unidades = 42/2 5. 7.5 rotaciones = (1 500 × 50)/10 000 6. Celda de manufactura 7. Matriz de procesos y productos

Bibliografía seleccionada

Hammer, M., "Reengineering Work: Don't Automate, Obliterate", *Harvard Business Review*, julio-agosto de 1990, pp. 104-112.

Hill, T., *Manufacturing Strategy*, 3a. ed., Nueva York, Irwin/McGraw-Hill, 2000.

Hyer, N. y U. Wemmerlöv, *Reorganizing the Factory: Competing through Cellular Manufacturing*, Portland, Oregon, Productivity Press, 2002.

Schniederjans, M. J. y J. R. Olsen, *Advanced Topics in Just-in-Time Management*, Westport, Connecticut, Quorum Books, 1999.

Womack, J. P. y D. T. Jones, *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation,* Nueva York, Simon and Schuster, 1996.

Capítulo 6A

DISTRIBUCIÓN DE LAS INSTALACIONES

Después de leer este capítulo, usted:

1. Entenderá la forma como suelen organizarse los procesos de producción, así como el punto medio entre eficiencia y flexibilidad que ofrece cada diseño.
2. Adquirirá experiencia con las herramientas básicas para diseñar centros de trabajo, líneas de ensamble y celdas de manufactura.
3. Reconocerá diseños comunes de comercios al menudeo y de oficinas.

Las decisiones relativas a la distribución implican determinar la ubicación de departamentos, grupos de trabajo de los departamentos, estaciones de trabajo y puntos donde se guardan las existencias en una instalación productiva. El objetivo es ordenar estos elementos de manera que se garantice el flujo continuo del trabajo (en una fábrica) o un patrón de tránsito dado (en una organización de servicios). En general, los elementos que intervienen en la decisión de la distribución son:

Global

1. Especificación de los objetivos y criterios para evaluar el diseño. Los criterios básicos de uso común son la cantidad de espacio que se requiere y la distancia que se debe recorrer entre los elementos de la distribución.
2. Cálculos de la demanda de productos o servicios del sistema.
3. Procesamiento necesario en términos del número de operaciones y la cantidad de flujo entre los elementos de la distribución.
4. Espacio necesario para los elementos de la distribución.
5. Disponibilidad de espacio dentro de la instalación misma o, si se trata de una nueva, las configuraciones posibles para el edificio.

Al abordar la distribución se estudiará cómo determinar las distribuciones de acuerdo con distintos formatos (o estructuras del flujo de trabajo). Se hará hincapié en las técnicas cuantitativas, pero también se presentarán ejemplos de la importancia de los factores cualitativos a la hora de diseñar la distribución. Este capítulo cubre instalaciones dedicadas a la manufactura y también a los servicios.

Esta operación de Salo, en Merikaari, Finlandia, es una de las nueve fábricas de teléfonos móviles de Nokia en el mundo. La superficie total de la fábrica, que cuenta con más de 1 200 empleados, mide más de 15 000 metros cuadrados.

Formatos básicos de la distribución para la producción

El patrón general del flujo de trabajo define los formatos para ordenar los departamentos de una instalación. Hay tres tipos básicos de formatos (centro de trabajo, línea de ensamble y distribución por proyecto) y uno híbrido (celda de manufactura).

Centro de trabajo

El formato de **centro de trabajo** (también llamado *taller de trabajo* o *distribución por funciones*) agrupa funciones o equipamientos similares, como todos los tornos en un área y todas las prensas en otra. Después, la pieza que se trabaja avanza, en una secuencia preestablecida de operaciones, de un área a otra, donde se encuentran las máquinas necesarias para cada operación. Por ejemplo, este tipo de distribución es común en los hospitales, donde las áreas están dedicadas a tipos particulares de servicios médicos, como salas de maternidad y unidades de cuidados intensivos.

Servicio

Línea de ensamble

En una **línea de ensamble** (también llamada *distribución de flujo del trabajo*), el equipo o los procesos de trabajo se ordenan según las etapas progresivas de la fabricación del producto. La ruta de cada pieza es en realidad una línea recta. Las líneas de ensamble de calzado, las plantas químicas y los lavados de autos son distribuciones basadas en el producto.

Celda de manufactura

Una **celda de manufactura** reúne distintas máquinas para trabajar en productos con formas y requerimientos de procesamiento semejantes. Una celda de manufactura se parece a un centro de trabajo porque las celdas están diseñadas para desempeñar un conjunto específico de procesos, pero también se parece a una línea de ensamble porque las celdas se dedican a una gama limitada de productos. (*Tecnología de grupo* se refiere a la clasificación y el sistema de codificación de las piezas con que se especifican los tipos de máquinas que incluye una celda.)

Distribución por proyecto

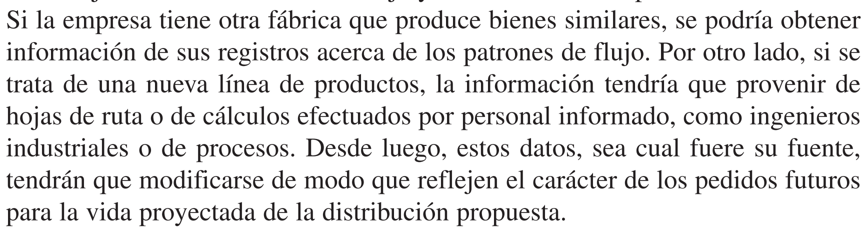
En la **distribución por proyecto**, el producto (en razón de su volumen o peso) está fijo en un lugar y el equipo de producción va al producto, no a la inversa. Las obras de construcción y los escenarios de cine son ejemplos de este formato.

Muchas instalaciones de manufactura combinan dos tipos de distribución. Por ejemplo, un área de producción dada se organizaría como centro de trabajo, y otra, como línea de ensamble. También es frecuente encontrar una planta entera ordenada con base en el flujo de los productos; por ejemplo, un área de maquinado de piezas, después un área de subensamble y un área final de ensamble al término del proceso. Se pueden utilizar distintos tipos de distribuciones en cada área, con centros de trabajo para el maquinado, celdas de manufactura para el subensamble y una línea de ensamble para la pieza final.

Centros de trabajo

El enfoque más común de la distribución de un centro de trabajo consiste en ordenar centros de trabajo con procesos similares de modo que optimicen su ubicación relativa. Por ejemplo, en una fábrica de juguetes que maneja volúmenes bajos, los centros de trabajo incluyen uno para embarcar y recibir, otro para el moldeado y el troquelado del plástico, otro para las formas de metal, otro de costura y uno más de pintura. Las piezas de los juguetes se fabrican en estos centros de trabajo y después se envían a los centros de trabajo de ensamble, donde termina de armarse. En muchas instalaciones, la ubicación óptima con frecuencia significa que los centros de trabajo con un volumen grande de movimiento entre departamentos se coloquen juntos.

Suponga que se desea ordenar los ocho centros de trabajo de una fábrica de juguetes para reducir el costo del manejo de materiales entre departamentos. Para empezar, se parte del supuesto sencillo de que todos los centros de trabajo tienen la misma cantidad de espacio (por decir, 12 por 12 metros) y que el edificio mide 24 metros de ancho y 48 metros de longitud y, por tanto, es compatible con las dimensiones del centro de trabajo. Lo primero que se desearía conocer es el carácter del flujo entre los centros de trabajo y la manera de transportar los materiales.

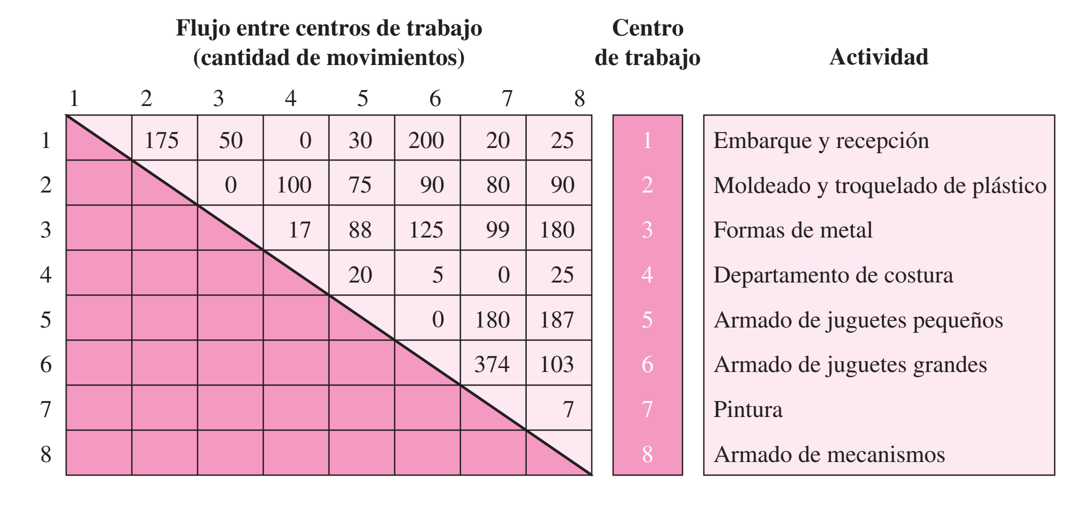


Si la empresa tiene otra fábrica que produce bienes similares, se podría obtener información de sus registros acerca de los patrones de flujo. Por otro lado, si se trata de una nueva línea de productos, la información tendría que provenir de hojas de ruta o de cálculos efectuados por personal informado, como ingenieros industriales o de procesos. Desde luego, estos datos, sea cual fuere su fuente, tendrán que modificarse de modo que reflejen el carácter de los pedidos futuros para la vida proyectada de la distribución propuesta.

Suponga que esta información existe. Se sabe que todos los materiales se transportan en un camión-grúa en un cajón de tamaño estándar, a razón de un cajón por camión (lo cual constituye una “carga”). Ahora suponga que el costo

Estudio de diseño de estilo 1, línea de producción, taller de pintura y línea de producción 3 de las instalaciones del Lotus Elise en Hethel, Reino Unido.

ILUSTRACIÓN 6A.1 Flujo entre centros de trabajo.



	Flujo entre centros de trabajo (cantidad de movimientos)								Centro de trabajo	Actividad
	1	2	3	4	5	6	7	8		
1		175	50	0	30	200	20	25	1	Embarque y recepción
2			0	100	75	90	80	90	2	Moldeado y troquelado de plástico
3				17	88	125	99	180	3	Formas de metal
4					20	5	0	25	4	Departamento de costura
5						0	180	187	5	Armado de juguetes pequeños
6							374	103	6	Armado de juguetes grandes
7								7	7	Pintura
8									8	Armado de mecanismos

ILUSTRACIÓN 6A.2 Dimensiones del edificio y centros de trabajo.

Muelle de carga

1	3	5	7
2	4	6	8

80′

160′

de trasladar una carga entre centros de trabajo contiguos es de un dólar, más otro dólar por cada centro de trabajo intermedio. La ilustración 6A.1 presenta las cargas esperadas entre centros de trabajo durante el primer año de operación; la ilustración 6A.2 presenta el espacio disponible de la planta. Advierta que, en el ejemplo, se permiten movimientos diagonales, de modo que se considera que los centros de trabajo 2 y 3, y 3 y 6 son contiguos.

Con esta información, el primer paso será ilustrar el flujo entre centros de trabajo mediante un modelo, como el de la ilustración 6A.3, el cual presenta el patrón básico de la distribución que se desea mejorar.

El segundo paso es determinar el costo de esta distribución al multiplicar el costo del manejo de materiales por el número de cargas que se trasladan entre cada par de centros de trabajo. La ilustración 6A.4 presenta esta información, que se obtiene como sigue: El costo anual del manejo de materiales entre los centros de trabajo 1 y 2 es \$175 (\$1 × 175 movimientos), \$60 entre los centros de trabajo 1 y 5 (\$2 × 30 movimientos), \$60 entre los centros de trabajo 1 y 7 (\$3 × 20 movimientos), \$240 entre los centros de trabajo 2 y 7 en diagonal (\$3 × 80), y así sucesivamente. (Las "distancias" se tomaron de la ilustración 6A.2 o 6A.3, no de la ilustración 6A.4.)

Excel: Distribución de proyecto

El tercer paso consiste en buscar los cambios de ubicación de los centros de trabajo que disminuyan los costos. Según la gráfica y la matriz de costos, parece aconsejable acercar entre sí los centros de trabajo 1 y 6 para disminuir sus elevados costos por la distancia de los traslados. No obstante, esto requiere cambiar otros centros de trabajo, lo que afecta los costos de la

ILUSTRACIÓN 6A.3 Gráfica de flujo entre centros de trabajo con la cantidad de movimientos anuales.

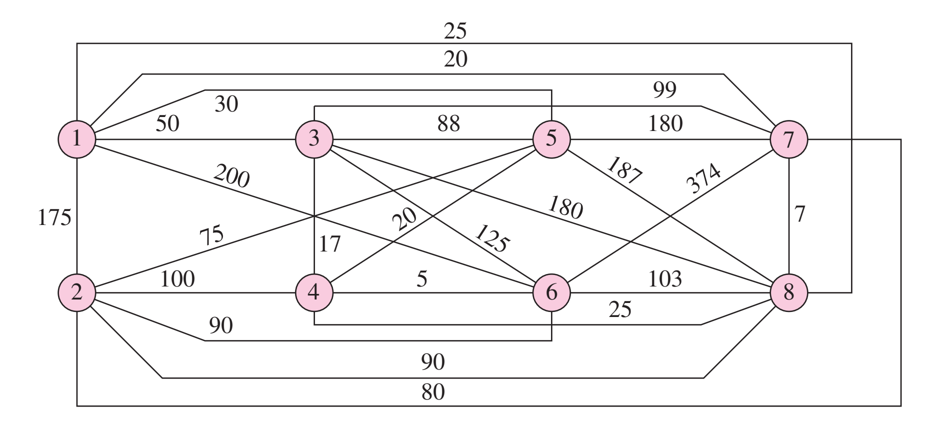
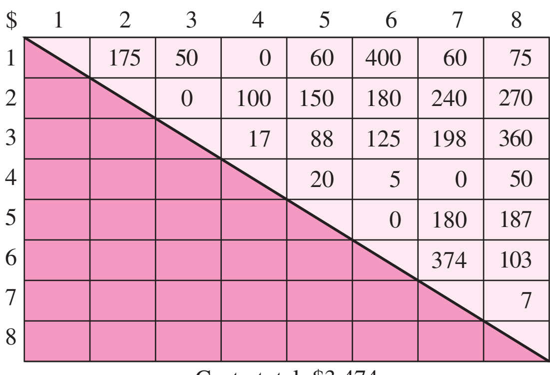


ILUSTRACIÓN 6A.4
Matriz de costos. Primera solución.



$	1	2	3	4	5	6	7	8
1		175	50	0	60	400	60	75
2			0	100	150	180	240	270
3				17	88	125	198	360
4					20	5	0	50
5						0	180	187
6							374	103
7								7
8								

Costo total: $3 474

ILUSTRACIÓN 6A.5
Revisada del flujo entre centros de trabajo. (Solo se describe el flujo entre centros de trabajo que afecta los costos.)

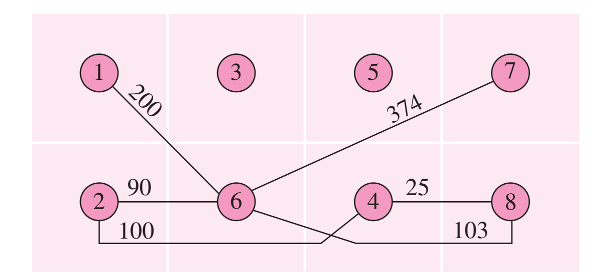


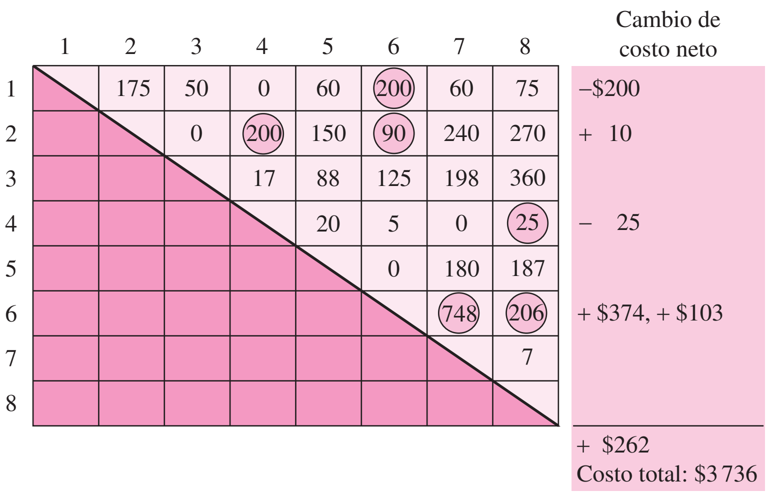
ILUSTRACIÓN 6A.7
Una distribución viable.

Ensamble de juguetes pequeños 5	Ensamble de mecanismo 8	Embarque y recepción 1	Ensamble de juguetes grandes 6
Formado del metal 3	Moldeo y troquelado del plástico 2	Costura 4	Pintura 7

distancia de los traslados y el costo total de la segunda solución. La ilustración 6A.5 presenta la distribución revisada que resulta de la reubicación del centro de trabajo 6 y un centro de trabajo contiguo. (El centro de trabajo 4 se eligió arbitrariamente para este efecto.) La ilustración 6A.6 presenta la matriz de costos revisada correspondiente a este cambio, así como los cambios de los costos. Observe que el costo total es $262 *más alto* que en la solución inicial. Queda claro que duplicar la distancia entre los centros de trabajo 6 y 7 explica la mayor parte del incremento de costos. Esto subraya el hecho de que, incluso en un problema pequeño, rara vez es fácil identificar "el movimiento obvio" correcto tan solo con una inspección informal.

Hasta ahora solo se ha presentado un cambio entre los muchos posibles; de hecho, en el caso del problema de ocho centros de trabajo, ¡existen 8! (es decir, 40 320) arreglos posibles. Por tanto, el procedimiento empleado tendría una posibilidad muy remota de lograr una combinación óptima en un número razonable de intentos. Y el problema no termina aquí.

ILUSTRACIÓN 6A.6 Matriz de costos. Segunda solución.



	1	2	3	4	5	6	7	8	Cambio de costo neto
1		175	50	0	60	200	60	75	−$200
2			0	200	150	90	240	270	+ 10
3				17	88	125	198	360	
4					20	5	0	25	− 25
5						0	180	187	
6							748	206	+ $374, + $103
7								7	
8									
									+ $262 Costo total: $3 736

Suponga que *sí* se llega a una buena solución exclusivamente con base en el costo del manejo de materiales, como la que presenta la ilustración 6A.7 (cuyo costo total es $3 550). Lo primero que se advierte es que el centro de trabajo de embarques y recepciones queda cerca del centro de la fábrica, arreglo que quizá no resulte aceptable. El centro de trabajo de costura queda junto al de pintura, lo cual presenta el riesgo de que el aire transporte pelusa, hilos y partículas de las telas que se depositarían en los artículos terminados. Es más, el ensamble de juguetes pequeños y el de juguetes grandes están ubicados en extremos contrarios de la planta, lo cual incrementaría el tiempo de movimiento para los armadores (que tal vez se necesitarían en los dos centros de trabajo en distintas horas del día) y para los supervisores (que de otra forma podrían supervisar los dos centros de trabajo al mismo tiempo). A menudo, cuando se efectúa una distribución muchas veces es necesario considerar otros factores además del costo del manejo de materiales.

Planeación sistemática de la distribución

En ciertos tipos de problemas de distribución no tiene sentido conocer el flujo numérico de los bienes entre los centros de trabajo, y este tampoco revela factores cualitativos que pudiesen ser

cruciales para decidir dónde ubicarlos. En tales casos se aplica la venerable técnica llamada **planeación sistemática de la distribución (SLP)**,[1] la cual implica crear una gráfica de relaciones que muestre el grado de importancia de que cada uno de los centros de trabajo se ubique junto a cada uno de los demás. Con base en esta gráfica se prepara un diagrama de relaciones de las actividades, similar a la gráfica de flujo para ilustrar el manejo de materiales entre los centros de trabajo. El diagrama de relaciones de las actividades se ajusta por prueba y error hasta encontrar un patrón satisfactorio de adyacencia. A su vez, este patrón se modifica, centro de trabajo por centro de trabajo, para ajustarse a las limitaciones del espacio del edificio. La ilustración 6A.8 presenta la técnica mediante un sencillo problema de cinco centros de trabajo en la distribución del piso de una tienda de departamentos.

Planeación sistemática de la distribución (SLP)

Líneas de ensamble

El término *línea de ensamble* se refiere a un ensamble progresivo ligado por algún tipo de aparato que maneja los materiales. El supuesto común es que los pasos siguen cierta cadencia y que el tiempo permitido para el procesamiento es el mismo en todas las estaciones de trabajo. En esta definición general existen importantes diferencias entre tipos de líneas. Algunas de ellas

ILUSTRACIÓN 6A.8 Planeación sistemática de la distribución de un piso de una tienda de departamentos.

A. Gráfica de relaciones (basada en las tablas B y C)

De	A 2	3	4	5	Superficie (metros cuadrados)
1. Departamento de crédito	I 6	U —	E 4	U —	100
2. Departamento de juguetes		U —	I 1	A 1,6	400
3. Departamento de vinos			U —	X 1	300
4. Departamento de cámaras				X 1	100
5. Departamento de chocolates					100

Letra: Clasificación de cercanía

Número: Explicación de la calificación

B.

Código	Razón*
1	Tipo de cliente
2	Facilidad de supervisión
3	Personal común
4	Contacto necesario
5	Compartir el mismo espacio
6	Psicología

*Pueden ser otras.

C.

Valor	Cercanía	Código de línea*	Ponderaciones numéricas
A	Absolutamente necesaria	≣	16
E	Especialmente importante	≡	8
I	Importante	=	4
O	Cercanía común y corriente OK	—	2
U	Sin importancia		0
X	No deseable	/\/\/\	−80

*Solo para ejemplificar.

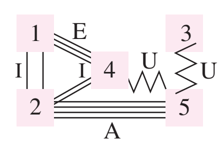
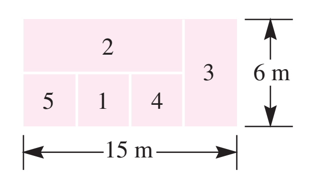


Diagrama de la relación inicial (basado en las tablas A y C)

5	2	4
	3	1

Distribución inicial basada en el diagrama de relaciones (sin considerar las limitaciones de espacio ni las del edificio)



Distribución final ajustada a los metros cuadrados y el tamaño del edificio

[1] Vea R. Muther y J. D. Wheeler, "Simplified Systematic Layout Planning", *Factory* 120, núms. 8, 9, 10, agosto, septiembre y octubre de 1962, pp. 68-77, 111-119, 101-113.

son los aparatos que manejan materiales (bandas o rodillos transportadores, grúa aérea), la configuración de la línea (en forma de U, recta, con ramificaciones), pasos cadenciosos (mecánico, humano), mezcla de productos (un producto o muchos), las características de la estación de trabajo (los trabajadores pueden estar sentados, de pie, caminar con la línea o transportarse al mismo tiempo que la línea) y la extensión de la línea (pocos o muchos trabajadores). Para muchos lectores, su primera exposición a las líneas de ensamble es el episodio de *I Love Lucy* en el cual Lucy y Ethel envuelven chocolates con papel en una línea muy rápida y, para seguir la cadencia, recurren a guardárselos en las bolsas y por último a comérselos. Si bien el episodio a todas luces exagera la presión del trabajo en una línea de ensamble, no cabe duda de que la velocidad y la habilidad son esenciales en situaciones reales, como en las líneas de automóviles. Para conocer la opinión de un trabajador, véase el recuadro titulado "¿Cómo es el trabajo en una línea de ensamble?"

La gama de productos que se arman parcial o totalmente en las líneas abarca juguetes, aparatos electrodomésticos, automóviles, aviones, armas de fuego, equipo de jardín, ropa y toda una variedad de componentes electrónicos. De hecho, cabe decir que casi todo artículo que tiene varias partes y se produce en grandes volúmenes utiliza las líneas de ensamble en alguna medida. Desde luego, las líneas son una tecnología importante y, para entender de verdad sus requisitos administrativos, se debe conocer la manera de equilibrar una línea.

BALANCEO DE LA LÍNEA DE ENSAMBLE

Balancear la línea de ensamble es cosa sobre todo de programación, pero muchas veces tiene implicaciones en la distribución. Tal sería el caso cuando, por cuestiones de balanceo, el tamaño o el número de estaciones se tendría que modificar físicamente.

Tiempo del ciclo de la estación de trabajo

La línea de ensamble más común es una banda que se mueve y pasa por una serie de estaciones de trabajo en intervalos uniformes llamados **tiempos del ciclo de la estación de trabajo**

¿Cómo es el trabajo en una línea de ensamble?

Ben Hamper, el célebre "Rivethead" que trabaja para General Motors, describe así su nuevo empleo en la nueva línea de ensamble de la Suburban de Chevy:

> *Sonó la sirena y la línea de remache empezó a reptar. Me senté en el banquillo de trabajo y vi que el compañero al que iba a reemplazar acometía sus obligaciones. Tomó el extremo de una barra larga y, con ayuda del trabajador que estaba más adelante en la línea, se la acomodó sobre la espalda. ¡CLAAANNNNNGGG! Después corrió de regreso al banquillo y tomó el muelle fundido de una dirección de cuatro ruedas y la barra de suspensión de un escape. Remachó las piezas en la barra larga. Una vez remachada, empujó la barra de nuevo a su posición recta y tomó una cruceta de la línea alimentadora que pendía sobre la banca. Se estiró para tomarla con el brazo libre y agarró otra pistola remachadora, mientras jugueteaba para colocar firmemente la cruceta de modo que quedara alineada con el conjunto correcto de orificios. Acto seguido, introdujo los remaches y empezó a apretar la cruceta en su lugar debido. Solo ver cómo trabajaba este compañero me provocó un dolor de cabeza.*
>
> *"¿Qué te parece si lo intentas?" Me preguntó el compañero pasado un rato. "No vas a captar la sensación del trabajo ahí sentado en la banca."*
>
> *Amable, contesté que no, que no quería aprender nada de este monstruoso laberinto antes de que fuera enteramente necesario. Si el jefe pensaba que uno conocía el asunto en grado razonable, sin duda entraría y pondría a actuar a esa persona por cuenta propia. Yo tenía que seguir demorando las cosas y darle a Art tiempo de regresarme al taller de Cab.*
>
> *"Pues tienes tres días", contestó el compañero. "Después, este bebé será todo tuyo."*

Extracto de B. Hamper, Rivethead: Tales from the Assembly Line, Nueva York, Warner Books, 1992, p. 90.

(que también es el periodo entre las unidades sucesivas que salen por un extremo de la línea). En cada estación de trabajo se labora en un producto, sea añadiéndole partes o terminando operaciones de ensamble. El trabajo desempeñado en cada estación está compuesto por muchas fracciones de la labor, llamadas *tareas*, *elementos* y *unidades de trabajo*. Los análisis de tiempos y movimientos describen estas tareas. Por lo general se trata de grupos que no se subdividen en la línea de ensamble sin pagar una sanción con movimientos adicionales.

Todo el trabajo que se desempeña en una estación de trabajo equivale a la suma de las tareas asignadas a ella. El problema del **balanceo de la línea de ensamble** consiste en asignar todas las tareas a una serie de estaciones de trabajo de modo que cada una de ellas no reciba más de lo que se puede hacer en su tiempo del ciclo, y que el tiempo no asignado (es decir, inactivo) de todas las estaciones de trabajo sea mínimo. Las relaciones entre las tareas impuestas por el diseño del producto y las tecnologías del proceso complican el problema. Esto se llama **relación de precedencia**, la cual especifica el orden en que se deben realizar las tareas en el proceso de ensamble.

Balanceo de la línea de ensamble

Relación de precedencia

Los pasos para balancear una línea de ensamble son muy sencillos:

1. Especificar la secuencia de las relaciones de las tareas con un diagrama de precedencia, compuesto por círculos y flechas. Los círculos representan tareas individuales, y las flechas, el orden para desempeñarlas.
2. Determinar el tiempo del ciclo (C) que requieren las estaciones de trabajo con la fórmula

$$C = \frac{\text{Tiempo de producción por día}}{\text{Producto requerido por día (en unidades)}} \qquad \textbf{(6A.1)}$$

3. Determinar la cantidad mínima de estaciones de trabajo (N_t) que en teoría se requiere para cumplir el límite de tiempo del ciclo de la estación de trabajo mediante la siguiente fórmula (advierta que se debe redondear al siguiente entero más alto)

$$N_t = \frac{\text{Suma de tiempos de las tareas } (T)}{\text{Tiempo del ciclo } (C)} \qquad \textbf{(6A.2)}$$

4. Seleccionar una regla principal para asignar tareas a las estaciones de trabajo y una segunda para desempatar.
5. Asignar tareas, de una en una, a la primera estación de trabajo hasta que la suma de los tiempos de las tareas sea igual al tiempo del ciclo de la estación de trabajo o que no haya más tareas viables debido a restricciones de tiempo o de secuencia. Repita el proceso con la estación de trabajo 2, la estación de trabajo 3 y así sucesivamente hasta asignar todas las tareas.
6. Evaluar la eficiencia del balanceo obtenido con la fórmula[2]

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Suma de los tiempos de las tareas } (T)}{\text{Número real de estaciones de trabajo } (N_a) \times \text{Tiempo del ciclo de la estación de trabajo } (C)} \qquad \textbf{(6A.3)}$$

7. Si la eficiencia no es satisfactoria, se balancea de nuevo con otra regla de decisión.

EJEMPLO 6A.1: Balanceo de la línea de ensamble

La camioneta Modelo J se arma con una banda transportadora. Se requieren 500 camionetas por día. El tiempo de producción por día es de 420 minutos, y la ilustración 6A.9 presenta los pasos y tiempos del ensamble de la camioneta. Tarea: Encuentre la condición de balanceo que reduce al mínimo la cantidad de estaciones de trabajo, sujeta a las limitaciones del tiempo del ciclo y la precedencia.

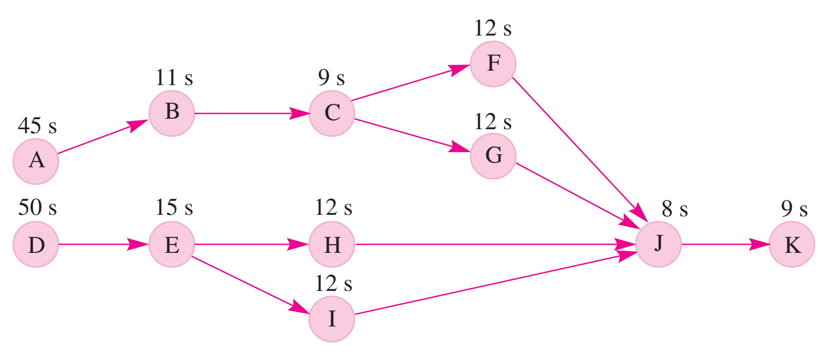
Paso por paso

2 El tiempo del ciclo de la estación de trabajo utilizado en este cálculo debe ser el tiempo real del ciclo que utilice la línea de ensamble.

ILUSTRACIÓN 6A.9 Pasos y tiempos del ensamble de la camioneta Modelo J.

Tarea	Tiempo de la tarea (en segundos)	Descripción	Áreas que deben preceder
A	45	Colocar retén del eje trasero y atornillar a mano cuatro tornillos a las tuercas.	–
B	11	Introducir eje trasero.	A
C	9	Apretar las tuercas de los tornillos del retén del eje trasero.	B
D	50	Colocar pieza del eje delantero y apretar a mano cuatro tornillos a las tuercas.	–
E	15	Apretar los tornillos de la pieza del eje delantero.	D
F	12	Colocar llanta trasera #1 y apretar tapón.	C
G	12	Colocar llanta trasera #2 y apretar tapón.	C
H	12	Colocar llanta delantera #1 y apretar tapón.	E
I	12	Colocar llanta delantera #2 y apretar tapón.	E
J	8	Colocar la palanca de velocidades de la camioneta en la pieza del eje delantero y apretar a mano tuerca y tornillo.	F, G, H, I
K	9	Apretar tuerca y tornillo.	J
	195		

ILUSTRACIÓN 6A.10 Diagrama de precedencia de la camioneta Modelo J.



Solución

1. Elabore un diagrama de precedencia. La ilustración 6A.10 presenta la secuencia de las relaciones señaladas en la ilustración 6A.9. (La longitud de las flechas no tiene significado alguno.)
2. Determine el tiempo del ciclo de la estación de trabajo. En este caso se debe convertir a segundos porque los tiempos de las tareas están en segundos.

$$C = \frac{\text{Tiempo de producción por día}}{\text{Producción por día}} = \frac{60 \text{ s} \times 420 \text{ min}}{500 \text{ camionetas}} = \frac{25\,200}{500} = 50.4$$

3. Determine la cantidad mínima de estaciones de trabajo que se requieren en teoría (el número real puede ser mayor):

$$N_t = \frac{T}{C} = \frac{195 \text{ segundos}}{50.4 \text{ segundos}} = 3.87 = 4 \text{ (redondeado)}$$

4. Elija las reglas para las asignaciones. Ciertas investigaciones demuestran que algunas reglas son mejores que otras para problemas con determinadas estructuras. En general, la estrategia consiste en utilizar una regla que asigne tareas que tienen muchas otras que les siguen o que duran mucho tiempo, porque de hecho limitan el balance o equilibrio que se podría lograr. En este caso se utiliza la siguiente regla principal:
   a) Clasifique las tareas por orden de prioridad según el número más alto de tareas subsiguientes:

Tareas	Número de tareas subsiguientes
A	6
B o D	5
C o E	4
F, G, H o I	2
J	1
K	0

La segunda regla, que se aplica cuando existen empates derivados de la primera, es

b) Clasifique por orden de prioridad las tareas con base en las que duren más tiempo (ilustración 6A.11). Observe que D se debe asignar antes que B, y que E se asigna antes que C porque esta regla resuelve los empates.

5. Efectúe las asignaciones de las tareas para formar la estación de trabajo 1, la estación de trabajo 2 y así sucesivamente hasta asignarlas todas. La ilustración 6A.11A presenta las asignaciones reales, y en la ilustración 6A.11B están en forma gráfica. Al efectuar las asignaciones es importante que cumplan con los requisitos de precedencia y del tiempo del ciclo.

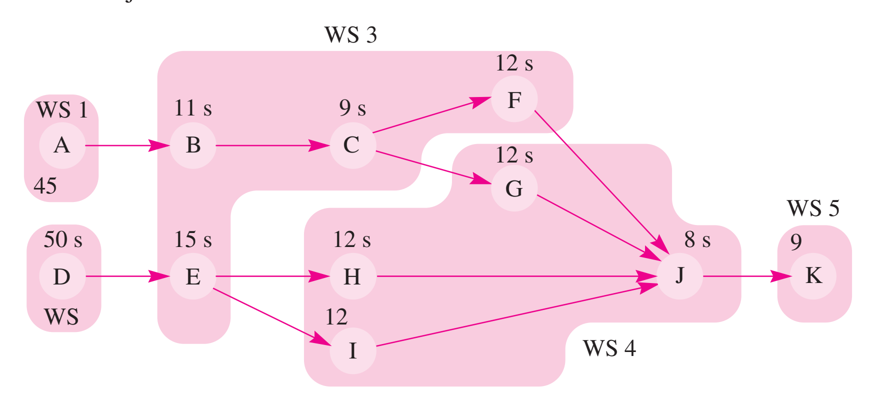
ILUSTRACIÓN 6A.11

A. Equilibrio basado en la regla del número mayor de tareas subsiguientes.

	Tarea	Tiempo de la tarea (en segundos)	Tiempo restante no asignado (en segundos)	Tareas viables restantes	Tarea con más tareas subsiguientes	Tareas con el tiempo de operación más largo
Estación 1	A	45	5.4 inactivos	Ninguna		
Estación 2	D	50	0.4 inactivos	Ninguna		
Estación 3	B	11	39.4	C, E	C, E	E
	E	15	24.4	C, H, I	C	
	C	9	15.4	F, G, H, I	F, G, H, I	F, G, H, I
	F*	12	3.4 inactivos	Ninguna		
Estación 4	G	12	38.4	H, I	H, I	H, I
	H*	12	26.4	I		
	I	12	14.4	J		
	J	8	6.4 inactivos	Ninguna		
Estación 5	K	9	41.4 inactivos	Ninguna		

* Indica una tarea elegida de manera arbitraria cuando existe un empate entre los tiempos de operación más largos.

B. Diagrama de precedencia de la camioneta modelo J con una representación visual de las estaciones de trabajo.



C. Cálculo de la eficiencia

$$\text{Eficiencia} = \frac{T}{N_c C} = \frac{195}{(5)(50.4)} = 0.77 \text{ o } 77\%$$

6. Calcule la eficiencia, como se muestra en la ilustración 6A.11C.
7. Evalúe la solución. Una eficiencia de 77% indica un desbalance o una inactividad de 23% del tiempo (1.0 − 0.77) en la línea entera. En la ilustración 6A.11A se ve que hay un total de 57 segundos de inactividad y que el trabajo "selecto" está en la estación de trabajo 5.

¿Es posible un mejor balanceo? La respuesta es afirmativa en este caso. Trate de balancear la línea según la regla *b* y resolviendo empates con la regla *a*. (Esto le proporcionará un balanceo viable de cuatro estaciones.) ●

División de las tareas

A menudo, el tiempo más largo requerido para una tarea constituye el tiempo más breve del ciclo de la estación de trabajo de la línea de producción. Este tiempo de la tarea representa el límite más bajo de tiempo, a menos que sea posible dividir la tarea entre dos o más estaciones de trabajo.

Piense en la siguiente ilustración: suponga que los tiempos de las tareas de una línea de ensamble, en segundos, son: 40, 30, 15, 25, 20, 18, 15. La línea opera 7½ horas por día y la demanda es de 750 productos por día.

El tiempo del ciclo de la estación de trabajo necesario para producir 750 por día es 36 segundos ([7½ horas × 60 minutos × 60 segundos]/750). El problema es que se tiene una tarea que tarda 40 segundos. ¿Cómo manejar dicha tarea?

Existen varias formas de acomodar una tarea de 40 segundos en un ciclo de 36 segundos, a saber:

1. **Dividir la tarea.** ¿Se puede dividir la tarea de modo que dos estaciones de trabajo procesen unidades completas?
2. **Compartir la tarea.** ¿Es posible compartir la tarea de modo que una estación de trabajo contigua desempeñe parte del trabajo? Esta solución es diferente de la división de la tarea de la primera opción porque la estación contigua interviene para ayudar y no para hacer algunas unidades que abarcan la tarea entera.
3. **Utilizar estaciones de trabajo paralelas.** Tal vez sea necesario asignar la tarea a dos estaciones de trabajo que operarían en paralelo.
4. **Recurrir a un trabajador más capacitado.** Como esta tarea excede el tiempo del ciclo de la estación de trabajo tan solo 11%, un trabajador más veloz quizá logre cumplir el tiempo de 36 segundos.
5. **Trabajar horas extra.** La producción con un ritmo de una unidad cada 40 segundos daría 675 por día, 75 menos de las 750 requeridas. El tiempo extra necesario para producir las 75 adicionales suma 50 minutos (75 × 40 segundos/60 segundos).
6. **Rediseñar.** Quizá sea posible rediseñar el producto de modo que disminuya un poco el tiempo de la tarea.

Otras posibilidades para reducir el tiempo de la tarea son actualizar el equipamiento, un ayudante itinerante que apoye la línea, un cambio de materiales, y trabajadores con múltiples habilidades que operen la línea en forma de equipo y no como trabajadores independientes.

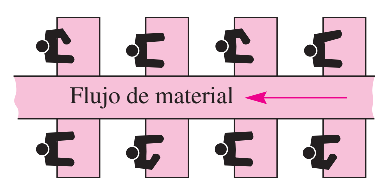
Distribución flexible de la línea y en forma de U

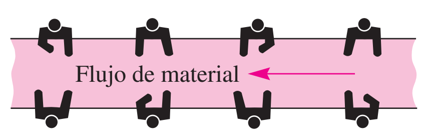
Como se vio en el ejemplo anterior, el balanceo de la línea de ensamble muchas veces da por resultado que los tiempos de las estaciones de trabajo sean asimétricos. Las distribuciones flexibles de la línea, como los de la ilustración 6A.12, son comunes para abordar este problema. En el ejemplo de la empresa juguetera, la línea en forma de U para compartir trabajo, como se presenta en la base de la figura, ayuda a resolver el desbalanceo.

Modelo mixto para equilibrar la línea

Fabricantes que aplican el JIT, como Toyota, utilizan este enfoque. El objetivo es satisfacer la demanda de diversos productos y evitar que se formen inventarios grandes. El balanceo de la línea con un modelo mixto implica programar varios modelos que se producirán en un día o semana en una misma línea de manera cíclica.

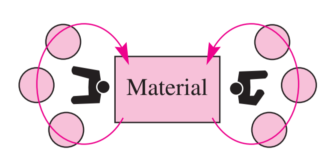
ILUSTRACIÓN 6A.12 Distribución de líneas flexibles.



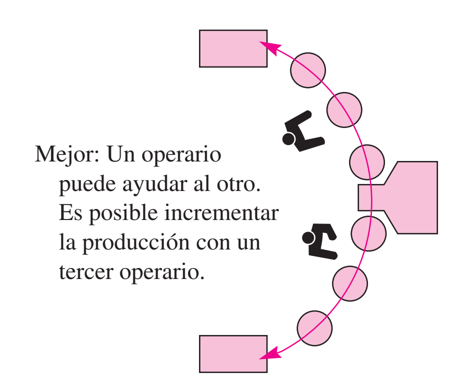


Incorrecta: Los operadores están encerrados. No existe posibilidad de que intercambien elementos de trabajo entre sí. (Distribución de línea de subensamble común en las plantas estadounidenses.)

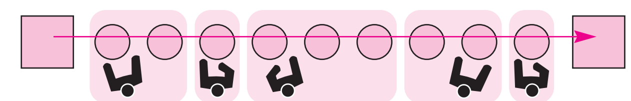
Mejor: Los operarios pueden intercambiar elementos del trabajo. Es posible añadir o restar operarios; los capacitados prácticamente se pueden balancear para distintos ritmos de producción.



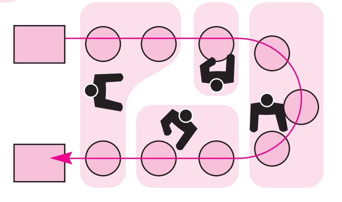
Incorrecta: Los operarios están limitados al ubicarse de espaldas. No existe posibilidad de incrementar la producción con un tercer operario.



Mejor: Un operario puede ayudar al otro. Es posible incrementar la producción con un tercer operario.



Incorrecta: Línea recta difícil de balancear.



Mejor: Una de las varias ventajas de la línea en U es que los operarios tienen mejor acceso. En este caso, el número de operarios se redujo de cinco a cuatro.

Fuente: R. W. Hall, *Attaining Manufacturing Excellence*, Homewood, Illinois, Dow Jones-Irwin, 1987, p. 125. Derechos de reproducción © 1987 de McGraw-Hill Companies Inc.

EJEMPLO 6A.2: Modelo mixto para balancear la línea

Paso por paso

Para ilustrar cómo se hace, suponga que la empresa de juguetes tiene una línea de maquinado que realiza orificios en el marco de su camioneta modelo J y en el de su camioneta modelo K. El tiempo requerido para realizar los orificios no es igual para los dos tipos de camioneta.

Suponga que, más adelante, la línea de ensamble final requiere el mismo número de marcos de la camioneta modelo J que de la modelo K. Suponga también que se desea establecer un tiempo de ciclo para la línea de maquinado equilibrado de modo que se produzca el mismo número de marcos J y K. Desde luego, se podría producir marcos del modelo J durante varios días y después producir marcos del modelo K hasta obtener el mismo número de marcos. No obstante, esto crearía, innecesariamente, un inventario de trabajo en proceso.

Si se desea reducir el volumen del inventario de trabajo en proceso, se puede encontrar una mezcla del ciclo que disminuya sustantivamente la acumulación en el inventario, al mismo tiempo que cumpla con las restricciones de un número igual de marcos J y K.

Tiempos del proceso: 6 minutos por J y 4 minutos por K.
El día tiene 480 minutos (8 horas × 60 minutos).

Solución

6J + 4K = 480

Como se debe producir un número igual de J que de K (o J = K), se producen 48J y 48K por día, o 6J y 6K por hora.

A continuación se presenta un balanceo de los marcos J y K.

Secuencia equilibrada de modelo mixto

Secuencia del modelo	J J	K K K	J J	J J	K K K	
Tiempo de operación	6 6	4 4 4	6 6	6 6	4 4 4	Se repite 8 veces diarias
Tiempo de los miniciclos	12	12	12	12	12	
Tiempo total del ciclo			60			

Esta línea está balanceada con 6 marcos de cada tipo por hora, con miniciclos que duran 12 minutos.

Otro equilibrio es J K K J K J, con tiempos de 6, 4, 4, 6, 4, 6. Este balanceo produce 3J y 3K cada 30 minutos con un miniciclo que dura 10 minutos (JK, KJ, KJ). ●

La descripción de Yasuhiro Monden referente a las operaciones de Toyota Motor Corporation ilustra la sencillez del balanceo con un modelo mixto (en condiciones de un programa de producción nivelada):

> *Las líneas finales de ensamble de Toyota son líneas de productos mixtos. El promedio de la producción diaria se obtiene a partir del número de vehículos dentro del programa de producción mensual, clasificados de acuerdo con sus especificaciones, y al dividirlo entre el número de días hábiles.*
>
> *Respecto de la secuencia de la producción diaria se calcula el tiempo del ciclo de cada vehículo con especificaciones diferentes. Para que todos los vehículos especificados aparezcan dentro de su tiempo de ciclo, los diferentes vehículos especificados se ordenan de modo que uno siga al otro.*[3]

TENDENCIAS ACTUALES RESPECTO DE LAS LÍNEAS DE ENSAMBLE

Es cierto que los métodos generalizados de la línea de ensamble para la producción incrementan en gran medida el ritmo de producción. Históricamente, casi siempre el acento se ha puesto en utilizar a plenitud el trabajo humano; es decir, se diseñaron líneas de ensamble para reducir al mínimo el tiempo de inactividad personal. El aprovechamiento del equipo e instalaciones quedó en segundo plano porque se le concedió menos importancia. Se intentó encontrar soluciones óptimas con investigaciones que suponían que el problema pertenecía a un mundo que jamás cambia.

Las tendencias más recientes de la línea de ensamble adoptan una perspectiva más amplia. La intención es incorporar una mayor flexibilidad para los productos fabricados en la línea, más variación en las estaciones de trabajo (como cantidad de trabajadores y tamaño), más confiabilidad (en virtud de un mantenimiento preventivo de rutina) y un producto de gran calidad (gracias a mejores maquinado y capacitación).

Celdas

La distribución de celdas asigna máquinas diferentes a las celdas para que trabajen en productos con requerimientos de procesamiento y formas semejantes. Las distribuciones basadas en celdas de manufactura son ya muy comunes en el maquinado metálico, producción de módulos de compu-

[3] Y. Monden, *Toyota Production System: Practical Approach to Production Management*, Atlanta, Georgia, Industrial Engineering and Management Press, Institute of Industrial Engineers, 1983, p. 208.

tadora y labores de ensamble. El objetivo general es derivar los beneficios de la distribución por productos en una producción de tipo de talleres de trabajo. Algunos de estos beneficios son:

1. **Mejores relaciones personales.** En las celdas están unos cuantos trabajadores que forman un pequeño equipo de trabajo; un equipo produce unidades completas de trabajo.
2. **Mayor experiencia de los operarios.** Los trabajadores solo ven un número limitado de piezas diferentes en un ciclo finito de producción, por lo cual la repetición significa un aprendizaje rápido.
3. **Menos inventario de trabajo en proceso y manejo de materiales.** Una celda combina varias etapas de producción, por lo cual se trasladan menos piezas por el taller.
4. **Preparación más rápida para la producción.** Menos trabajos significan menos maquinado y, por tanto, cambios más rápidos en las máquinas.

CREACIÓN DE UNA CELDA DE MANUFACTURA

El cambio de una distribución por proceso a una de celdas implica tres pasos:

1. Agrupar las piezas en familias que siguen una secuencia común de pasos. Este paso requiere desarrollar y mantener una clasificación computarizada de las piezas y un sistema de codificación. Con frecuencia esto representa un gasto mayor en sistemas, aunque muchas empresas elaboran procedimientos para identificar con más facilidad las familias de piezas.
2. Identificar los patrones dominantes del flujo de las familias de piezas como base para ubicar o reubicar los procesos.
3. Agrupar las máquinas y los procesos físicamente dentro de las celdas. Muchas veces hay piezas que no están asociadas con una familia y no se puede ubicar una maquinaria especializada en una sola celda debido a su uso general. Estas piezas y maquinaria inconexas se colocan en una "celda remanente".

La ilustración 6A.13 presenta el proceso para crear celdas con cuatro familias de piezas. La parte A muestra la distribución original del proceso. La parte B muestra una matriz de rutas basada en el flujo de las piezas. La parte C presenta la organización final en celdas con el equipo ordenado en forma de U tradicional. El ejemplo supone que existen múltiples tornos, fresadoras, etc., de modo que cada celda contará con el número requerido de cada tipo de ellos ubicado físicamente en su interior.

CELDAS VIRTUALES DE MANUFACTURA

Cuando no es fácil mover el equipo, muchas empresas dedican una máquina en particular, de un conjunto de máquinas idénticas, a una distribución por proceso. Por decir, una celda virtual de producción para un proceso de producción de dos meses para un trabajo puede colocar el taladro 1 en el área de perforación, la fresadora 3 en el área de fresado y el área de ensamble 1 en el área de máquinas de ensamble. Para acercar el flujo de la celda, todo el trabajo correspondiente a una familia particular de piezas se desempeñaría exclusivamente con estas máquinas específicas.

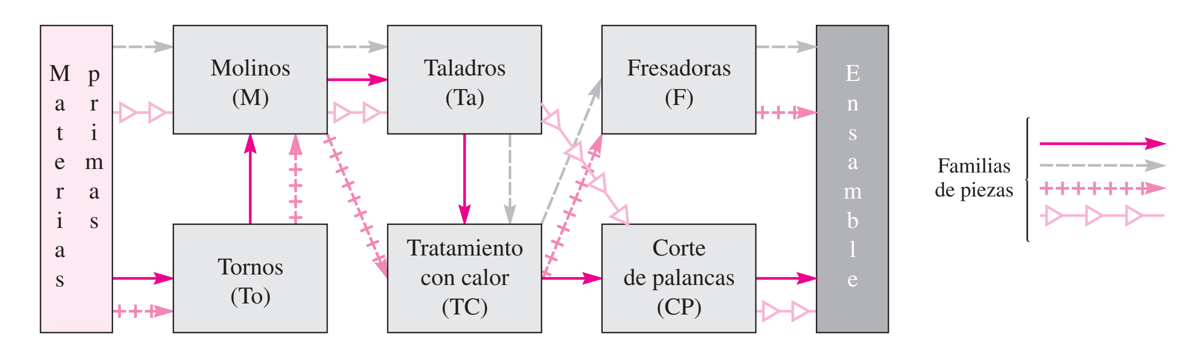
Distribuciones por proyecto

La distribución por proyecto se caracteriza por una cantidad relativamente pequeña de unidades de producción en comparación con los formatos del centro de trabajo y la línea de ensamble. Cuando prepare la distribución por proyecto, piense que el producto es el eje de una rueda y que los materiales y el equipamiento se colocan en forma concéntrica en torno al punto de producción por orden de uso y dificultad de traslado. Así, al construir yates por pedido, por ejemplo, los remaches que se emplean en toda la construcción se colocarían en el casco o cerca de él; las piezas pesadas del motor, que se deben trasladar al casco una sola vez, estarían en una ubicación más distante, y las grúas, junto al casco, porque se usan constantemente.

En una distribución por proyecto es común que las tareas estén muy sujetas a un orden y, en la medida en que la precedencia determine las etapas de producción, la distribución se puede

ILUSTRACIÓN 6A.13 Creación de celdas de manufactura.

A. Distribución original del centro de trabajo

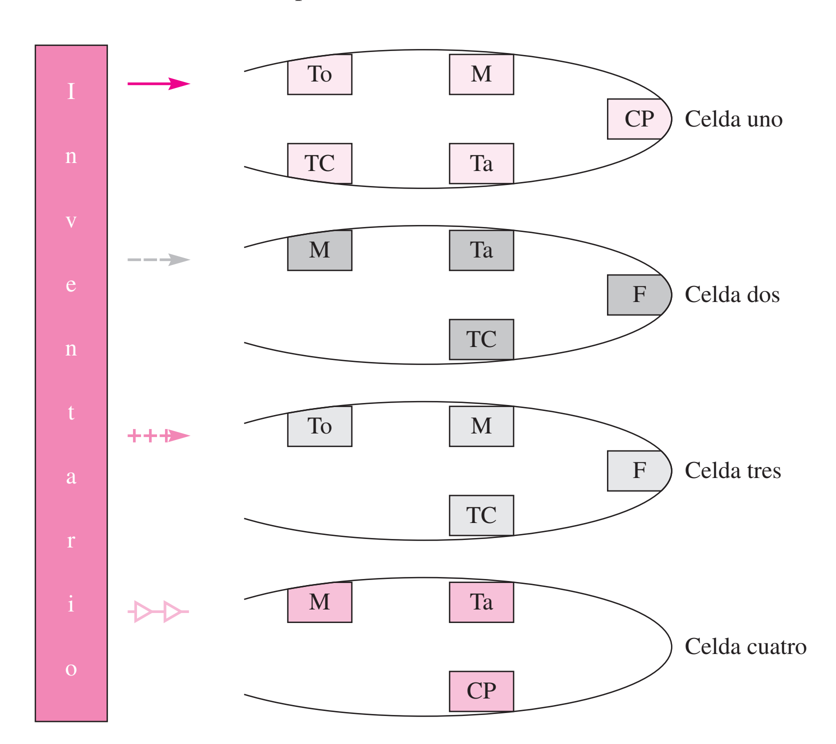


Fuente: Adaptado de D. Fogarty y T. Hoffman, *Production and Inventory Management*, Cincinnati, South-Western Publishing, 1983, p. 472.

B. Matriz de rutas basada en el flujo de las piezas

Materias primas	Familia de piezas	Tornos	Molinos	Taladros	Tratamiento con calor	Fresadoras	Corte de palancas	A	Ensamble
	- - ->		X	X	X	X		- - ->	
	▷—▷		X	X			X	▷—▷	
	——>	X	X	X	X		X	——>	
	+++▶	X	X		X	X		+++▶	

C. Reasignación de las máquinas para formar celdas con base en los requerimientos de procesamiento de las familias de piezas



crear al ordenar los materiales de acuerdo con su prioridad tecnológica. Cabe esperar que este procedimiento se presente al crear la distribución de una máquina herramienta grande, como una máquina de estampado, en cuyo caso la manufactura sigue una secuencia rígida, el ensamble es ascendente y se añaden piezas a la base casi como si fueran ladrillos.

En lo que se refiere a las técnicas cuantitativas de distribución, la bibliografía que aborda los formatos por proyectos no dice mucho, si bien se utilizan desde hace miles de años. No obstante, en determinadas situaciones tal vez sea posible especificar criterios objetivos y crear la distribución por proyecto mediante medios cuantitativos. Por ejemplo, si el costo del manejo de materiales es considerable y el sitio de construcción permite que el material se mueva más o menos en línea recta, entonces puede ser conveniente la técnica de distribución del centro de trabajo.

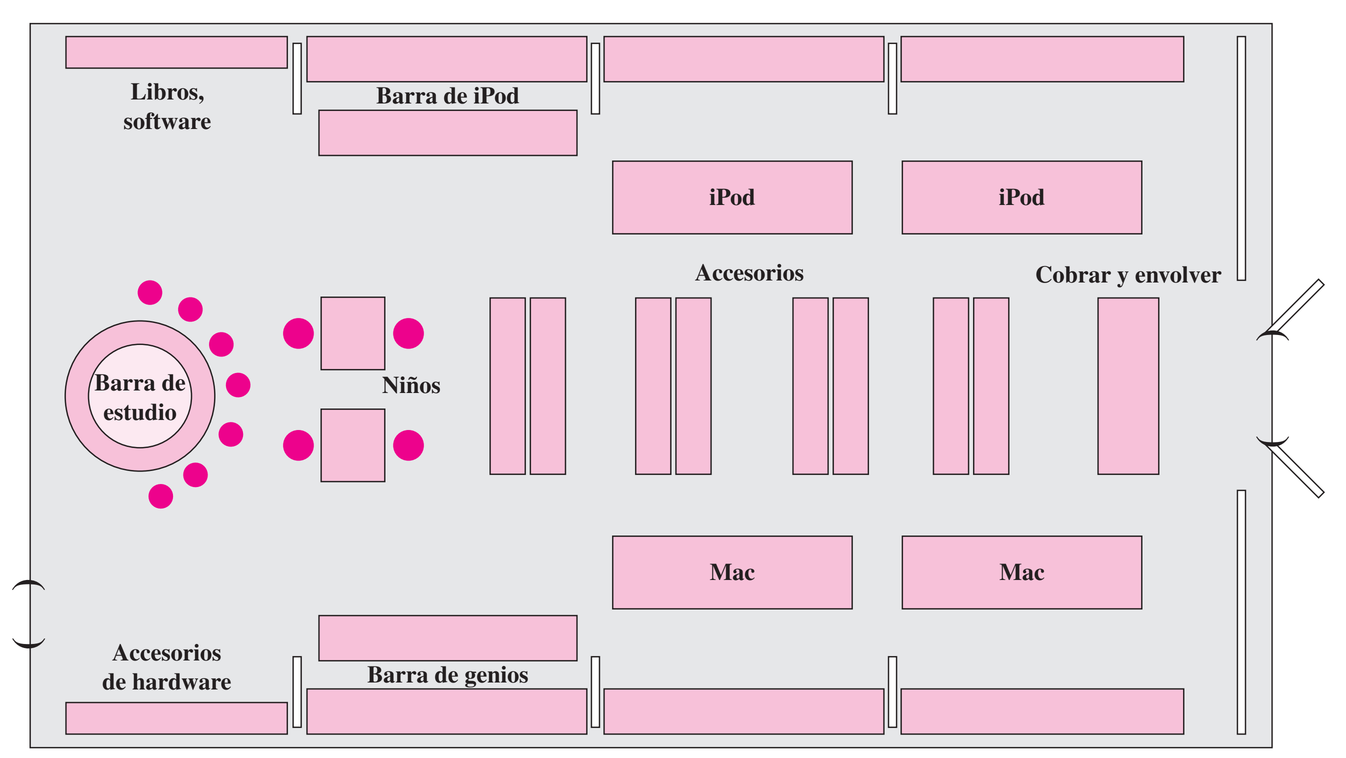
Distribución para servicios minoristas

Servicio

El objetivo de la *distribución para servicios minoristas* (como la de tiendas, bancos y restaurantes) es maximizar la utilidad neta por metro cuadrado de espacio de piso. Una empresa que sabe aprovechar cada centímetro de la distribución de su espacio para alcanzar este objetivo es Apple Computer. La ilustración 6A.14 presenta la distribución de una tienda minorista de Apple. Los clientes entran y salen de la tienda por un área de "pagar y envolver". Los productos Mac y los iPods de la entrada están en la primera sección a la derecha y a la izquierda, en mostradores y en exhibidores en el muro. Los accesorios de estos productos están en el área central de la tienda.

Todas las tiendas de Apple tienen una barra de Genios, donde los clientes reciben asesoría técnica o servicio de preparación y reparación de sus productos. Para atender a la creciente cantidad de clientes de iPod en la barra de Genios, algunas tiendas nuevas también tienen una barra de iPod. La mayor parte de las tiendas tiene una estación llamada El Estudio, con un contexto parecido al de la barra de Genios, donde los clientes se reúnen con un "creativo" y reciben ayuda para proyectos como organizar un álbum de fotos o componer música y editar películas. Las áreas para probar y "experimentar" los productos están al fondo de la tienda. El software y los libros también están en la parte de atrás de la tienda. Un área especial para niños, con sillas bajas y una mesa redonda, les permite probar algunos productos populares.

ILUSTRACIÓN 6A.14 Distribución de una tienda minorista de Apple.



SERVICESCAPES

Servicio

Como ya se mencionó, el objetivo general de la distribución en los servicios al menudeo suele ser maximizar la utilidad neta por metro cuadrado de espacio de piso. En las operaciones, esta meta muchas veces se traduce en criterios como "reducir el costo de manejo" o "maximizar la exposición al producto". No obstante, como observaron Sommers y Kernan hace más de 30 años, aplicar estos criterios y otros similares durante la planeación de la distribución de los servicios "da por resultado tiendas que parecen almacenes y que requieren que los compradores realicen esa actividad igual que quienes escogen mercancía para surtir pedidos o la colocan en las vitrinas".[4] Desde luego, los clientes de Walmart y Home Depot aceptan estos arreglos de buen grado porque quieren ahorrar en los precios.

Otros aspectos, más humanistas, también se deben considerar en la distribución. Bitner acuñó el término *servicescape* para referirse al contexto físico de la prestación de servicios y la manera como este entorno afecta a clientes y empleados. Para comprender el *servicescape* es necesario crear una buena distribución para la empresa de servicios (o la parte relacionada con los servicios de una empresa manufacturera). El servicescape tiene tres elementos que se deben tomar en cuenta: condiciones del ambiente, distribución y funcionalidad del espacio, y letreros, símbolos y otros objetos.[5]

Las *condiciones del ambiente* son las características del entorno, como ruido, música, iluminación, temperatura y aromas que afectan el desempeño y humor del empleado, así como las percepciones de los clientes respecto del servicio, el tiempo que permanecerán dentro del establecimiento y el dinero que gastarán. Si bien muchas de estas características están sujetas sobre todo a la influencia del diseño del edificio (como ubicación de luminarias, acabados acústicos y ventiladores), la distribución en el interior del edificio también ejerce su efecto. Las áreas cercanas a donde se preparen alimentos olerán a comida, la iluminación en el pasillo de las butacas de un teatro debe ser suave, las mesas colocadas cerca del escenario serán ruidosas y las de la entrada tendrán corrientes de aire.

Dos aspectos de la *funcionalidad y la distribución del espacio* son en especial importantes: la planeación de la circulación de los clientes y la forma de agrupar la mercancía. La meta de la planeación de la circulación es brindar a los clientes una ruta que los exponga a la mayor cantidad de mercancía posible, al mismo tiempo que, a lo largo del trayecto, se colocan los servicios en la secuencia en que se necesitarán. Por ejemplo, las mueblerías de IKEA se diseñaron para garantizar que los clientes pasen por delante de cada producto antes de que paguen y salgan del establecimiento. Las tiendas también cuentan con barras de alimentos por el camino de modo que los clientes coman algo sin salirse del camino. Las características de los pasillos tienen particular importancia. Además de determinar la cantidad de pasillos se debe decidir su anchura, porque está en función directa del tránsito esperado o deseado. El ancho de los pasillos también afecta la dirección del flujo que transita por el servicio. Dairy Store de Stew Leonard en Norwalk, Connecticut, se diseñó de modo que resulta prácticamente imposible darle la vuelta al carrito de la compra una vez que se ingresa al flujo de la ruta para las compras. En la distribución, los puntos focales que captan la atención de los clientes también se sirven para atraerlos en la dirección deseada. La famosa luz azul de Kmart es un ejemplo.

Para resaltar la visibilidad que los clientes tienen de la mercancía conforme recorren el pasillo principal se colocan pasillos secundarios y terciarios en ángulo. Piense en las dos distribuciones que presenta la ilustración 6A.15. La distribución rectangular tal vez requeriría aditamentos menos caros y tendría más espacio de exhibición. Si las consideraciones del almacenamiento son importantes para la gerencia de la tienda, esta sería la distribución más aconsejable. Por otra parte, la distribución angular ofrece al comprador una visibilidad mucho más clara de la mercancía y, en igualdad de condiciones, presenta un entorno de ventas más deseable.

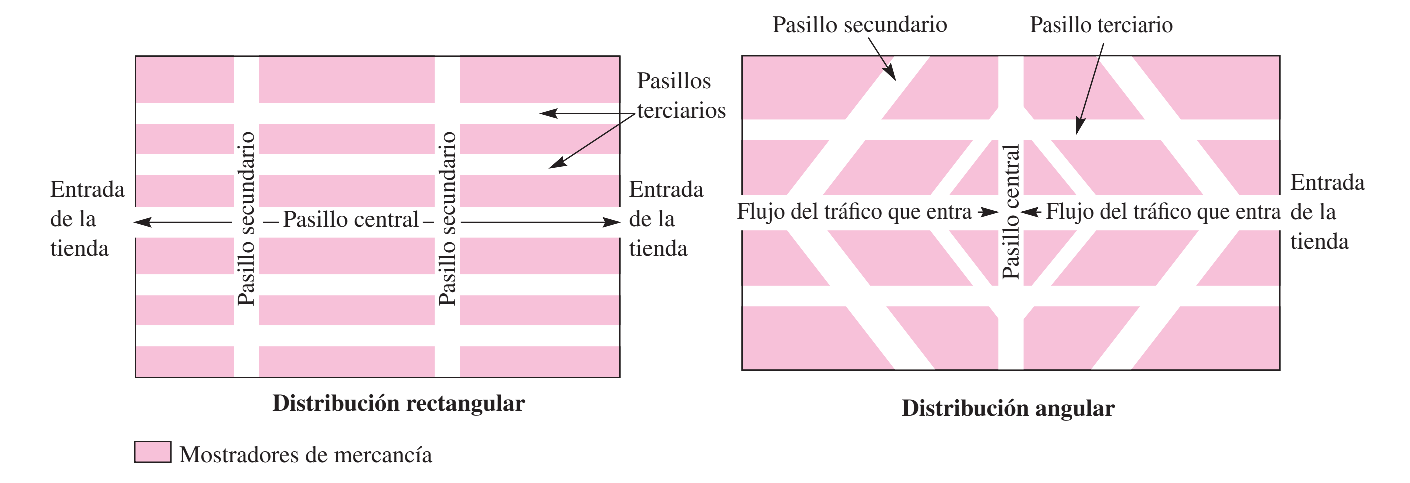
Ahora es práctica común basar los grupos de mercancía en la visión que el comprador tiene de los artículos relacionados en lugar de basarse en las características físicas de los productos o

---

[4] M. S. Sommers y J. B. Kernan, "A Behavioral Approach to Planning, Layout and Display", *Journal of Retailing*, invierno de 1965-1966, pp. 21-27.

[5] M. J. Bitner, "Servicescapes: The Impact of Physical Surroundings on Customers and Employees", *Journal of Marketing* 56, abril de 1992, pp. 57-71.

ILUSTRACIÓN 6A.15 Opciones de distribuciones para tiendas.



en el espacio de los anaqueles y los servicios requeridos. Esta filosofía de agrupación por asociación se encuentra en las *boutiques* de las tiendas de departamentos y las secciones de *gourmet* en los supermercados.

Cabe una mención especial de unos cuantos lineamientos derivados de investigaciones de mercado y otras relacionadas con la planeación de la circulación y la agrupación de la mercancía.

1. En los supermercados, la gente tiende a observar un comportamiento de compra que sigue un patrón perimetral. Al colocar los artículos de elevada utilidad en los muros de la tienda se incrementa la probabilidad de que la gente los compre.
2. La mercancía rebajada que se coloca al final de un pasillo en los supermercados casi siempre se vende mejor que los mismos artículos rebajados en otro lugar a lo largo del pasillo.
3. Los departamentos de crédito y otros que no se dedican a las ventas y que requieren que los clientes esperen para recibir el servicio deben ubicarse en los pisos altos o en las áreas "muertas".
4. En las tiendas de departamentos, los lugares más cerca de la entrada a la tienda y contiguos a las vitrinas del frente son más valiosos en términos de potencial de ventas.

LETREROS, SÍMBOLOS Y OTROS OBJETOS

Los *letreros, símbolos* y *otros objetos* son las partes del servicio con significado social. Tal como ocurre con el ambiente, suelen ser una característica del diseño del edificio, aunque la orientación, ubicación y tamaño de muchos objetos y áreas tengan un significado especial. Por ejemplo:

Servicio

- Antaño, los ejecutivos de crédito de los bancos se identificaban con facilidad porque sus escritorios estaban en una sección más alta del piso del banco llamada plataforma.
- Una persona sentada en el escritorio ubicado más cerca de la entrada suele ser la encargada de saludar a los clientes y dirigirlas a su destino.
- En una tienda con centros de trabajo, las áreas enlosetadas indican que se trata de pasillos para avanzar, mientras que las áreas alfombradas indican que son departamentos para mirar la mercancía.
- Algunos vendedores de automóviles tienen pizarras en sus oficinas porque una persona que escribe en una pizarra es símbolo de alguien digno de confianza y a quien se debe prestar atención (como un profesor).

Estos ejemplos quizá le ayuden a comprender que la influencia de los factores conductuales dificulta en gran medida la creación de reglas sólidas para la distribución del servicescape. Basta decir que la elección de la distribución no es tan solo cuestión de escoger entre el espacio de exhibición y la facilidad de operación.

Distribución de oficinas

Servicio

Global

La tendencia en la *distribución de oficinas* se dirige hacia las oficinas más abiertas, con espacios personales de trabajo separados tan solo por muros divisorios bajos. Las compañías eliminaron los muros fijos para fomentar mayor comunicación y trabajo en equipo. Los letreros, símbolos y otros objetos, como se explicó en la sección de la distribución para servicios, tal vez son más importantes en la distribución de oficinas que en los servicios al menudeo. Por ejemplo, el tamaño y la orientación de los escritorios indicarían la importancia o el profesionalismo de las personas que los ocupan.

Las oficinas centrales de administración muchas veces se diseñan y distribuyen de modo que transmitan la imagen deseada de la empresa. Por ejemplo, el complejo de oficinas administrativas de Scandinavian Airlines System (SAS), en las afueras de Estocolmo, es un conjunto de canales de dos pisos, con muros de cristal que dan la sensación de que existe comunicación abierta y jerarquía plana (pocos niveles de organización), características de la filosofía administrativa de la compañía.

Service-Master (la muy rentable empresa de administración de conserjería) colocó su "Sala de conocimiento" en el centro de sus oficinas principales. Esta sala contiene todos los productos físicos, manuales de operaciones y muestras pictóricas de rutas de carrera y otros símbolos del conocimiento clave esencial para el negocio. "Desde esta sala, el resto de la empresa se ve como un enorme aparato para llevar el conocimiento del mercado a sus empleados y clientes en potencia".[6]

Resumen

La distribución de las instalaciones es donde se ve la realidad de las cosas en lo que respecta al diseño y la operación de un sistema de producción. Una buena distribución de la fábrica (u oficina) proporciona una verdadera ventaja competitiva porque facilita los procesos de flujo de materiales e información. También mejora la vida laboral de los empleados. Una buena distribución de los servicios es un "escenario" eficaz para desempeñarlos. En conclusión, estas son algunas señales de una buena distribución en distintos entornos:

SEÑALES DE UNA BUENA DISTRIBUCIÓN DE OPERACIONES DE PRODUCCIÓN Y DE OFICINAS

1. Patrón (o adaptación) de flujo en línea recta.
2. Mantener al mínimo los cambios de rumbo.
3. Tiempo de producción previsible.
4. Escaso almacenamiento de materiales entre etapas.
5. Pisos de planta abiertos para que todo el mundo vea lo que sucede.
6. Controlar operaciones que representan cuellos de botella.
7. Estaciones de trabajo cercanas.
8. Manejo y almacenamiento ordenados de los materiales.
9. No manejar materiales si no es necesario.
10. Fácil adaptación a condiciones cambiantes.

SEÑALES DE UNA BUENA DISTRIBUCIÓN PARA LOS SERVICIOS EN PERSONA

1. Patrón sencillo del flujo del servicio.
2. Instalaciones de espera adecuadas.
3. Fácil comunicación con los clientes.
4. Facilidad para vigilar a los clientes.
5. Puntos claros de entrada y de salida, con capacidad adecuada para pagar a la salida.
6. Departamentos y procesos ordenados de modo que los clientes solo vean lo que se desea que vean.

[6] R. Norman, *Service Management*, 2a. ed., Nueva York, John Wiley & Sons, 1991, p. 28.

7. Balanceo entre las áreas de espera y las de servicios.
8. Movimiento mínimo de materiales y para caminar.
9. Ausencia de amontonamientos.
10. Elevado volumen de ventas por metro cuadrado de piso.

Conceptos clave

Centro de trabajo También llamado *distribución de taller de trabajo* o *distribución por funciones*; formato en el cual se agrupan equipos o funciones similares.

Línea de ensamble Equipo o procesos de trabajo ordenados de acuerdo con los pasos progresivos para fabricar el producto.

Celdas de manufactura Agrupan máquinas que no son similares para trabajar en productos con requerimientos de procesamiento y formas semejantes.

Distribución por proyecto El producto permanece en un lugar y se lleva el equipo al producto.

Planeación sistemática de la distribución (SLP) Técnica para resolver problemas de la distribución de procesos cuando no se dispone de datos numéricos de los flujos entre departamentos. Se usa un diagrama de relaciones de actividades que se ajusta por prueba y error hasta encontrar un patrón satisfactorio de adyacencias.

Tiempo del ciclo de la estación de trabajo Tiempo entre unidades sucesivas que salen del final de una línea de ensamble.

Balanceo de la línea de ensamble Asignar todas las tareas de una serie de estaciones de trabajo de modo que cada una no reciba más de lo que puede hacer en el tiempo de su ciclo, y reducir así el tiempo de inactividad en todas las estaciones de trabajo.

Relación de precedencia El orden en que se deben desempeñar las tareas en el proceso de ensamble.

Revisión de fórmulas

Tiempo de ciclo de estación de trabajo

$$C = \frac{\text{Tiempo de producción por día}}{\text{Producción requerida por día (en unidades)}} \quad \textbf{(6A.1)}$$

Cantidad mínima de estaciones de trabajo para satisfacer la restricción del tiempo de ciclo de la estación de trabajo

$$N_t = \frac{\text{Suma de tiempos de tareas } (T)}{\text{Tiempo del ciclo } (C)} \quad \textbf{(6A.2)}$$

Eficiencia

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Suma de tiempos de tareas } (T)}{\text{Cantidad real de estaciones de trabajo } (N_a) \times \text{Tiempo del ciclo de estación de trabajo } (C)} \quad \textbf{(6A.3)}$$

Problemas resueltos

Problema resuelto 1

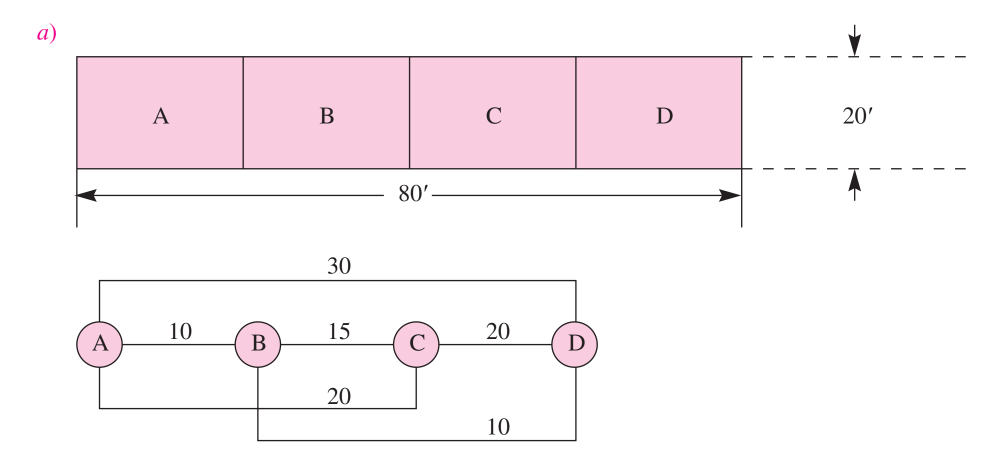
La oficina de asesoría de una universidad tiene cuatro despachos, cada uno dedicado a problemas específicos: solicitudes (despacho A), asesoría de horarios (despacho B), impugnación de calificaciones (despacho C) y asesoría de estudiantes (despacho D). La oficina mide 80 pies de largo y 20 de ancho. Cada despacho mide 20 por 20 pies. La ubicación actual de los despachos es A, B, C, D; es decir, una línea recta. El resumen de cargas muestra el número de contactos de cada consejero de un despacho con los asesores de los demás despachos. Suponga que todos los asesores tienen el mismo valor.

Resumen de cargas: $AB = 10$, $AC = 20$, $AD = 30$,
$BC = 15$, $BD = 10$, $CD = 20$.

a) Evalúe esta distribución de acuerdo con el método del costo de manejo de materiales.
b) Mejore la distribución intercambiando las funciones de los despachos. Muestre cuánto mejoró con el mismo método que en el inciso *a*).

Solución

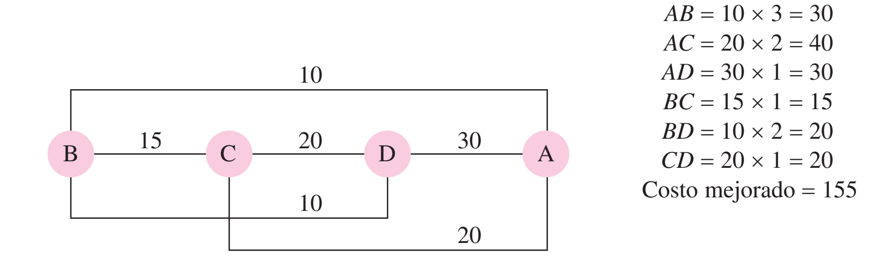
a)



Con el método del costo de manejo de materiales del ejemplo de la empresa juguetera (véanse las ilustraciones 6A.1 a 6A.7) se obtienen los costos siguientes, si se supone que cada elemento que no esté contiguo duplica la distancia inicial del costo/unidad.

$$AB = 10 \times 1 = 10$$
$$AC = 20 \times 2 = 40$$
$$AD = 30 \times 3 = 90$$
$$BC = 15 \times 1 = 15$$
$$BD = 10 \times 2 = 20$$
$$CD = 20 \times 1 = 20$$
Costo actual = 195

b) Una mejor distribución sería *BCDA*.



$$AB = 10 \times 3 = 30$$
$$AC = 20 \times 2 = 40$$
$$AD = 30 \times 1 = 30$$
$$BC = 15 \times 1 = 15$$
$$BD = 10 \times 2 = 20$$
$$CD = 20 \times 1 = 20$$
Costo mejorado = 155

Problema resuelto 2

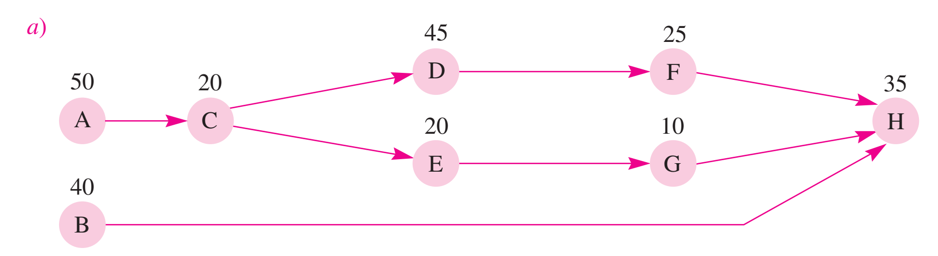
Las tareas siguientes deben desempeñarse en una línea de ensamble en la secuencia y tiempos especificados:

Tarea	Tiempo de la tarea (segundos)	Tareas que deben preceder
A	50	–
B	40	–
C	20	A
D	45	C
E	20	C
F	25	D
G	10	E
H	35	B, F, G

a) Trace un diagrama esquemático.
b) ¿Cuál es el número mínimo de estaciones que se requiere, en teoría, para satisfacer la demanda pronosticada de 400 unidades por jornada de 8 horas?
c) Con la regla de la tarea de tiempo más largo balancear la línea en el número mínimo de estaciones para producir 400 unidades diarias.

Solución

a)



b) En teoría, la cantidad mínima de estaciones para satisfacer D = 400 es

$$N_t = \frac{T}{C} = \frac{245 \text{ segundos}}{\left(\dfrac{60 \text{ segundos} \times 480 \text{ minutos}}{400 \text{ unidades}}\right)} = \frac{245}{72} = 3.4 \text{ estaciones}$$

c)

	Tarea	Tiempo de la tarea (en segundos)	Tiempo restante sin asignar	Tarea restante viable
Estación 1	A	50	22	C
	C	20	2	Ninguna
Estación 2	D	45	27	E, F
	F	25	2	Ninguna
Estación 3	B	40	32	E
	E	20	12	G
	G	10	2	Ninguna
Estación 4	H	35	37	Ninguna

Problema resuelto 3

Los ingenieros de producción de Suny Manufacturing trabajaban en un nuevo juguete de control remoto llamado Camión Monster. La empresa contrató a un asesor en producción que ayudara a determinar el mejor tipo de proceso de producción para satisfacer la demanda pronosticada para este nuevo producto. El asesor recomendó una línea de ensamble. Informó a los ingenieros de producción que la línea debía tener capacidad para producir 600 Camiones Monster diarios para satisfacer la demanda pronosticada. Los trabajadores de la planta trabajan ocho horas diarias. A continuación se presenta la información de la tarea del nuevo Camión Monster:

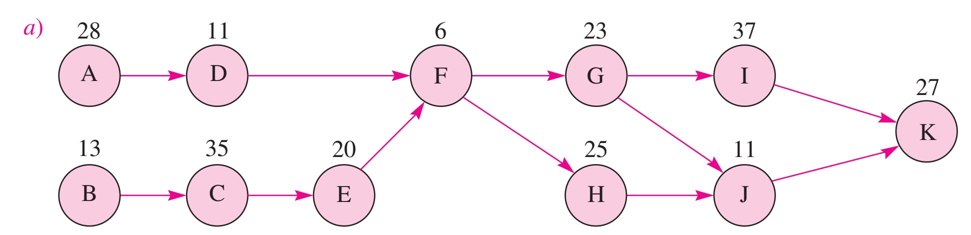
Tarea	Tiempo de la tarea (segundos)	Tareas que deben preceder
A	28	–
B	13	–
C	35	B
D	11	A
E	20	C
F	6	D, E
G	23	F
H	25	F
I	37	G
J	11	G, H
K	27	I, J
Total	236	

a) Trace el diagrama de precedencias.
b) ¿Cuál es el tiempo del ciclo que se requiere para satisfacer la demanda pronosticada de 600 camiones por día con una jornada de ocho horas?
c) Con la respuesta del inciso *b*), ¿cuál es la cantidad mínima de estaciones de trabajo en teoría?
d) Utilice la tarea de tiempo más largo, por orden alfabético, como elemento para romper el empate y balancear la línea en el número mínimo de estaciones para producir 600 camiones diarios.

e) Utilice la tarea de tiempo más corto con el número más grande de tareas subsiguientes como elemento para romper el empate y balancear la línea en el número mínimo de estaciones para producir 600 camiones por día.

Solución

a)



b) $$C = \frac{\text{Tiempo de producción por día}}{\text{Producción diaria}} = \frac{60 \text{ segundos} \times 480 \text{ minutos}}{600 \text{ camiones}} = \frac{28\,800}{600} = 48 \text{ segundos}$$

c) $$N_t = \frac{T}{C} = \frac{236 \text{ segundos}}{48 \text{ segundos}} = 4.92 = 5 \text{ (redondeado)}$$

d)

	Tareas viables	**Tarea**	**Tiempo de la tarea (segundos)**	**Tiempo restante sin asignar**
Estación 1	A, B	A	28	20
	B, D	B	13	7
Estación 2	C, D	C	35	12
	D	D	11	2
Estación 3	E	E	20	28
	F	F	6	22
Estación 4	G, H	H	25	23
	G	G	23	0
Estación 5	I, J	I	37	11
	J	J	11	0
Estación 6	K	K	27	21

e)

Tarea	**Cantidad de tareas subsiguientes**
A	7
B	8
C	7
D	6
E	6
F	5
G	3
H	2
I	1
J	1
K	0

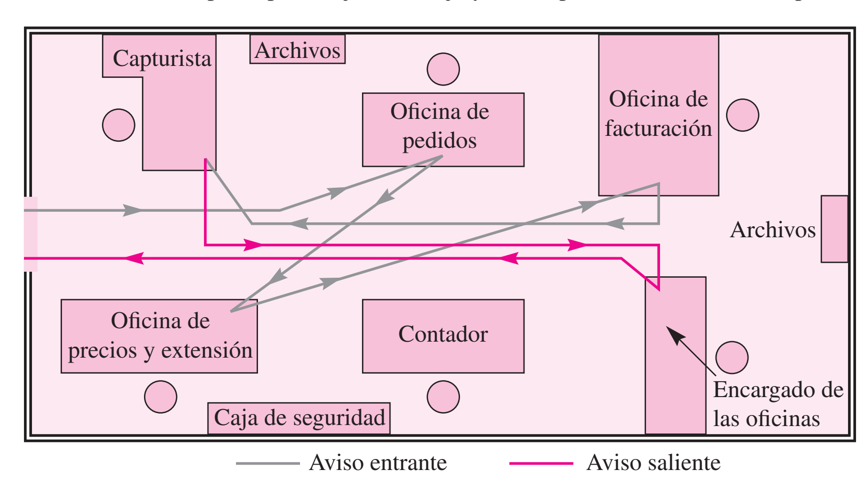
	Tareas viables	**Tarea**	**Tiempo de la tarea (segundos)**	**Tiempo restante sin asignar**
Estación 1	A, B	B	13	35
	A, C	A	28	7
Estación 2	C, D	D	11	37
	C	C	35	2
Estación 3	E	E	20	28
	F	F	6	22
Estación 4	G, H	G	23	25
	H, I	H	25	0
Estación 5	I, J	J	11	37
	I	I	37	0
Estación 6	K	K	27	21

Preguntas de repaso y análisis

1. ¿Qué tipo de distribución se utiliza en un gimnasio?
2. ¿Cuál es el objeto de balancear una línea de ensamble? ¿Cómo manejaría usted una situación en la cual un trabajador que, si bien se esfuerza, es 20% más lento que las otras 10 personas de una línea?
3. ¿Cómo determina el porcentaje de tiempo inactivo derivado del balanceo de una línea de ensamble dada?
4. ¿Cuál es el requisito esencial para que las líneas con modelo mixto sean convenientes?
5. ¿Por qué sería difícil crear una celda de manufactura?
6. ¿En qué sentido la distribución de las instalaciones es un problema de marketing en los servicios? Mencione un ejemplo de distribución de un sistema de servicios diseñada para maximizar el tiempo que el cliente está en el sistema.
7. Piense en una tienda de departamentos. ¿Qué departamentos no deben ubicarse uno junto a otro? ¿Algunos departamentos se benefician por estar contiguos?
8. ¿Cómo ayuda una gráfica de flujo a planear la distribución de un servicescape? ¿Qué tipo de características actúan como punto de interés o atraen a los clientes de alguna otra manera para que sigan ciertas rutas al transitar por el servicio? En un supermercado, ¿qué departamentos deben ubicarse al principio de la ruta de los clientes? ¿Cuáles deben estar al final?

Problemas

1. La Cooperativa Cyprus Citrus envía un elevado volumen de pedidos individuales de naranjas al norte de Europa. El papeleo para los avisos de embarque se realiza con la distribución que se presenta a continuación. Revise el plano para mejorar el flujo y, de ser posible, conservar los espacios.



2. Una línea de ensamble fabrica dos modelos de camiones: Buster y Duster. Cada Buster tarda 12 minutos, y los Duster, 8 minutos cada uno. El requisito de producción es de 24 diarios de cada tipo. Formule una secuencia perfectamente balanceada con un modelo mixto para satisfacer la demanda.
3. Una línea de ensamble opera ocho horas al día con una producción deseada de 240 unidades por día. La tabla siguiente contiene información de los tiempos de la tarea de este producto y las relaciones de precedencia:

Tarea	Tiempo de la tarea (segundos)	Predecesor inmediato
A	60	–
B	80	A
C	20	A
D	50	A
E	90	B, C
F	30	C, D
G	30	E, F
H	60	G

a) Trace el diagrama de precedencia.
b) ¿Cuál es el tiempo del ciclo de la estación de trabajo?
c) Balancee esta línea con la tarea de tiempo más largo.
d) ¿Cuál es la eficiencia del balanceo de su línea?

4. La producción diaria deseada de una línea de ensamble es de 360 unidades. Esta línea operará 450 minutos por día. La tabla que se presenta a continuación contiene información acerca de los tiempos de la tarea de este producto y de las relaciones de precedencia:

Tarea	Tiempo de la tarea (segundos)	Precedente inmediato
A	30	–
B	35	A
C	30	A
D	35	B
E	15	C
F	65	C
G	40	E, F
H	25	D, G

a) Trace el diagrama de precedencia.
b) ¿Cuál es el tiempo del ciclo de la estación de trabajo?
c) Balancee la línea con el número mayor de las tareas siguientes. Utilice la tarea de tiempo más largo como segundo criterio.
d) ¿Cuál es la eficiencia del balanceo de su línea?

5. La tabla siguiente presenta algunas tareas y el orden en que se deben desempeñar de acuerdo con lo requerido para su ensamble. Las tareas se combinarán en las estaciones de trabajo para crear una línea de ensamble. La línea opera 7½ horas por día. La producción requerida es de 1 000 unidades diarias.

Tarea	Tareas precedentes	Tiempo (segundos)	Tarea	Tareas precedentes	Tiempo (segundos)
A	–	15	G	C	11
B	A	24	H	D	9
C	A	6	I	E	14
D	B	12	J	F, G	7
E	B	18	K	H, I	15
F	C	7	L	J, K	10

a) ¿Cuál es el tiempo del ciclo de la estación de trabajo?
b) Balancee la línea con la tarea de tiempo más largo basado en el pronóstico de 1 000 unidades, y mencione cuáles tareas se desempeñarían en cada estación de trabajo.
c) ¿Cuál es la eficiencia del balanceo de su línea en el caso del inciso *b*?
d) Una vez iniciada la producción, el departamento de marketing se dio cuenta de que subestimaron la demanda y deben incrementar la producción a 1 100 unidades. ¿Qué medidas tomaría usted? Sea específico en términos cuantitativos si fuera necesario.

6. Se presentó una solución inicial para el siguiente problema de distribución de un centro de trabajo. Dados los flujos descritos y un costo de 2.00 dólares por unidad por pie, calcule el costo total de la distribución. Cada local tiene 100 pies de largo y 50 de ancho, como muestra la siguiente ilustración. Utilice los centros de los departamentos para las distancias y mida la distancia en forma rectilínea.

Departamento		A	B	C	D
Departamento	**A**	0	10	25	55
	B		0	10	5
	C			0	15
	D				0

	100'	100'	100'	
50'	A	B	C	50'
			D	50'

7. Se diseñó una línea de ensamble para que opere 7½ horas diarias y que suministre una demanda constante de 300 unidades por día. A continuación se presentan las tareas y los tiempos para su desempeño.

Tarea	Tareas precedentes	Tiempo de desempeño (segundos)	Tarea	Tareas precedentes	Tiempo de desempeño (segundos)
a	–	70	g	d	60
b	–	40	h	e	50
c	–	45	i	f	15
d	a	10	j	g	25
e	b	30	k	h, i	20
f	c	20	l	j, k	25

a) Trace el diagrama de precedencia.
b) ¿Cuál es el tiempo del ciclo de la estación de trabajo?
c) ¿Cuál es la cantidad mínima de estaciones de trabajo en teoría?
d) Asigne las tareas a las estaciones de trabajo con el tiempo de operación más largo.
e) ¿Cuál es la eficiencia del balanceo de su línea?
f) Suponga que la demanda se incrementa 10%. ¿Cómo reaccionaría usted ante esto? Suponga que solo puede operar 7½ horas diarias.

8. S.L.P. Craft pidió su ayuda para la distribución de una nueva clínica de pacientes ambulatorios que construirá en California. Los datos que se presentan en el diagrama siguiente se obtuvieron a partir de un análisis de otra clínica construida hace poco. Se incluye el número de viajes de los pacientes entre departamentos en un día habitual (sobre la línea diagonal) y las ponderaciones numeradas (definidas en la ilustración 6A.8) entre departamentos de acuerdo con lo especificado por los médicos de la nueva clínica (debajo de la diagonal). El nuevo edificio medirá 60 por 20 pies.
a) Trace una gráfica de flujo entre departamentos que reduzca los traslados de los pacientes.
b) Elabore un diagrama de relaciones "buenas" con la planeación sistemática de la distribución.
c) Elija la distribución obtenida en el inciso *a*) o en el *b*) y dibuje los departamentos a escala dentro del edificio.
d) ¿Esta distribución será satisfactoria para el personal de enfermería? Explique.

Departamento	2	3	4	5	6	Superficie requerida (pies cuadrados)
1 Recepción	2 / A	5 / O	200 / E	0 / U	10 / O	100
2 Rayos X		10 / E	300 / I	0 / U	8 / O	100
3 Quirófano			100 / I	0 / U	4 / A	200
4 Consultorios (5)				0 / U	15 / I	500
5 Laboratorio					3 / O	100
6 Estación de enfermeras						100

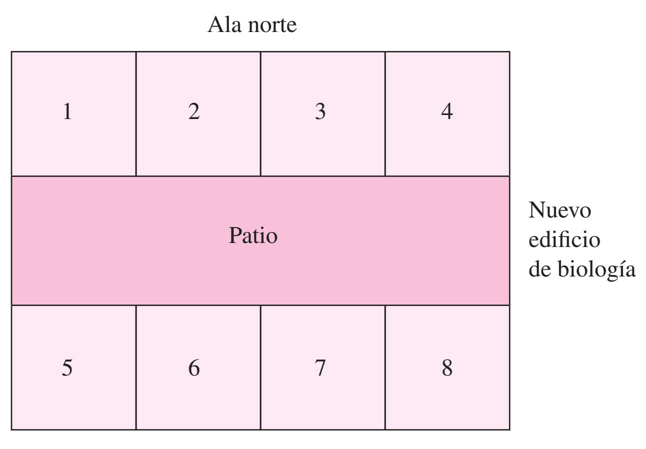
9. Las tareas siguientes se desempeñarán en una línea de ensamble:

Tarea	Segundos	Tareas que deben preceder
A	20	–
B	7	A
C	20	B
D	22	B
E	15	C
F	10	D
G	16	E, F
H	8	G

La jornada de trabajo es de siete horas. La demanda del producto terminado es de 750 por día.

a) Encuentre el tiempo del ciclo.
b) ¿Cuál es el número de estaciones de trabajo en teoría?
c) Trace el diagrama de precedencia.
d) Balancee la línea con las restricciones de la secuencia y la regla del tiempo más largo de operaciones.
e) ¿Cuál es la eficiencia de la línea balanceada como en el inciso *d*?
f) Suponga que la demanda aumenta de 750 a 800 unidades por día. ¿Qué haría usted? Muestre las cantidades o los cálculos.
g) Suponga que la demanda pasa de 750 a 1 000 unidades por día. ¿Qué haría usted? Muestre las cantidades o los cálculos.

10. El presidente de Dorton University pidió al departamento de AO que asigne a ocho profesores de biología (A, B, C, D, E, F, G y H) a ocho cubículos (numerados del 1 al 8 en el diagrama) del nuevo edificio de biología.



Las distancias y los flujos de doble sentido son:

Distancias entre oficinas (pies)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	–	10	20	30	15	18	25	34
2		–	10	20	18	15	18	25
3			–	10	25	18	15	18
4				–	34	25	18	15
5					–	10	20	30
6						–	10	20
7							–	10
8								–

Flujos en doble sentido (unidades por periodo)

	A	B	C	D	E	F	G	H
A	–	2	0	0	5	0	0	0
B		–	0	0	0	3	0	2
C			–	0	0	0	0	3
D				–	4	0	0	0
E					–	1	0	0
F						–	1	0
G							–	4
H								–

a) Si no hay restricciones (limitaciones) ante la asignación de los profesores a los cubículos, ¿cuántas asignaciones posibles hay por evaluar?
b) El departamento de biología envió la siguiente información y solicitudes al departamento de AO:

Los cubículos 1, 4, 5 y 8 son los únicos con ventanas.
A debe asignarse al cubículo 1.
D y E, los subdirectores del departamento de biología, deben tener ventanas.
H debe estar del otro lado del patio justo enfrente de D.
A, G y H deben estar en la misma ala.
F *no* debe estar junto a D o G ni directamente enfrente de G.

Encuentre la asignación óptima de los profesores a los cubículos que cumpla con todas las peticiones del departamento de biología y que minimice el costo total del manejo de materiales. Puede utilizar una lista de flujos de ruta como ayuda para los cálculos.

Ruta	Flujo	Ruta	Flujo	Ruta	Flujo	Ruta	Flujo	Ruta	Flujo
A-B	2	B-C	0	C-D	0	D-E	4	E-F	1
A-C	0	B-D	0	C-E	0	D-F	0	E-G	0
A-D	0	B-E	0	C-F	0	D-G	0	E-H	0
A-E	5	B-F	3	C-G	0	D-H	0	F-G	1
A-F	0	B-G	0	C-H	3			F-H	0
A-G	0	B-H	2					G-H	4
A-H	0								

11. La siguiente tabla presenta el flujo de materiales por ocho departamentos. La tabla muestra los flujos de ingreso y de salida de los distintos departamentos, pero suponga que la dirección del flujo no es importante. Además, suponga que el costo de trasladar el material solo depende de la distancia.

	Departamentos							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	–	20						
2	15	–	25				4	
3		5	–	40	5			
4			5	–	10			
5				20	–	30		
6						–	20	
7				3			–	10
8							5	–

a) Elabore un esquema de la distribución en el cual los departamentos estén ordenados en una cuadrícula de 2 × 4, donde cada cuadro representa una superficie de 10 × 10 metros cuadrados.

b) Evalúe su distribución midiendo la distancia multiplicada por el flujo. Suponga que la distancia se mide en línea recta (en este caso, los departamentos directamente adyacentes están separados por 10 metros, y los que están en diagonal, por 20 metros).

12. Una empresa utiliza un sistema de ensamble en serie y debe responder lo siguiente:

a) Se desea una producción de 900 unidades por turno (7.5 horas) para un nuevo sistema de procesamiento. El sistema requiere que el producto pase por cuatro estaciones, y el contenido del trabajo de cada estación dura 30 segundos. ¿Cuál es el tiempo del ciclo que se requiere para este sistema?

b) ¿Qué tan eficiente es su sistema con el tiempo de ciclo que calculó?

c) La estación 3 cambia y ahora requiere 45 segundos para terminar el trabajo. ¿Qué se debe hacer para satisfacer la demanda (suponga que solo hay disponibles 7.5 horas)? ¿Cuál es la eficiencia del nuevo sistema?

13. La compañía Sun River es un productor regional de tés, jugos exóticos y bebidas energéticas. En vista del interés por un estilo de vida más sano, la demanda de su fórmula sin azúcar registró un incremento.

La operación del empacado final requiere 13 tareas. Sun River embotella su producto sin azúcar cinco horas al día, cinco días a la semana. La demanda del producto es de 3 000 botellas a la semana. Con los datos siguientes, resuelva el problema del balanceode la línea de ensamble y calcule la eficiencia de su solución. Utilice la tarea de tiempo más largo como criterio para su decisión.

Tarea que debe seguir	Tiempo de desempeño (minutos)	Tarea que debe seguir
1	0.1	–
2	0.1	1
3	0.1	2
4	0.2	2
5	0.1	2
6	0.2	3, 4, 5
7	0.1	1
8	0.1	7
9	0.2	8
10	0.1	9
11	0.2	6
12	0.2	10, 11
13	0.1	12

14. Considere las siguientes tareas, tiempos y precedentes en el caso de una línea de ensamble de cajas de convertidores de televisión.

Elemento de la tarea	Tiempo (minutos)	Elemento precedente
A	1	–
B	1	A
C	2	B
D	1	B
E	3	C, D
F	1	A
G	1	F
H	2	G
I	1	E, H

Con un tiempo de ciclo de cuatro minutos, prepare dos distribuciones. ¿Cuál es la eficiencia de sus distribuciones?

Problema avanzado

15. La planta de Francis Johnson necesita diseñar una línea de ensamble muy eficiente para fabricar un nuevo producto. La línea de ensamble debe producir 15 unidades por hora y solo hay espacio para cuatro estaciones de trabajo. La tabla siguiente muestra las tareas y el orden en que se deben desempeñar. Las tareas no se pueden dividir y sería demasiado costoso duplicar una tarea cualquiera.

Tarea	Tiempo de la tarea (minutos)	Precedente inmediato
A	1	–
B	2	–
C	3	–
D	1	A, B, C
E	3	C
F	2	E
G	3	E

a) Trace el diagrama de precedencia.
b) ¿Cuál es el tiempo del ciclo de la estación de trabajo?
c) Balancee la línea de modo que solo se requieran cuatro estaciones de trabajo. Utilice el método que considere conveniente.
d) ¿Cuál es la eficiencia del balanceo de su línea?

CASO: EL SOUVLAKI DE SOTERIOU

Soteriou deja de limpiar el piso y levanta la vista; la luz está encendida. Esto significa que por fin conectaron la energía y que su restaurante pronto volverá a abrir sus puertas en la nueva dirección.

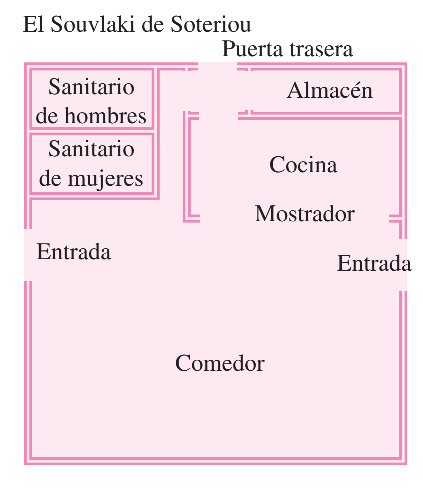
El Souvlaki de Soteriou es como muchos pequeños restaurantes del perímetro que rodea a la universidad. Se especializa en comida griega souvlaki (costillas de carnero), gyros, tiropita (empanadas de queso) y baklava (pastelillo de pistache y miel), y goza de enorme popularidad entre los estudiantes.

Las operaciones son similares a las de casi todos los restaurantes de comida rápida. Los clientes entran y se forman a la caja para ordenar y pagar. Una vez preparada la comida, se entrega al cliente en el mostrador principal. Las bebidas son de autoservicio y los clientes despejan las mesas cuando terminan de comer. Soteriou suele encargarse de la cocina con ayuda de un asistente que trabaja en la caja registradora.

Hasta hace poco, el restaurante de Soteriou estaba en un centro comercial, en la zona de restaurantes, pero el daño provocado por un temblor, las limitaciones de espacio y las malas condiciones de los sanitarios le llevaron a mudarse a este nuevo local; está en un pequeño edificio independiente donde antes se servían hamburguesas. Los dueños anteriores retiraron todo el equipo y las mesas, pero dejaron un enorme mostrador fijo para el servicio, el cual marca la separación física entre la cocina y el comedor (vea el plano siguiente).

Consciente de que los estudiantes cuidan cada vez más su salud (y tal vez un poco precipitado ante el espacio adicional del nuevo local), Soteriou decidió añadir una barra de ensaladas de autoservicio. Esta barra de ensaladas se parece mucho a la de otros restaurantes, pero con un toque más mediterráneo.

Al parecer, la nueva cocina no es mucho más grande que la anterior, pero es más estrecha. Para preparar sus especialidades griegas en la nueva cocina, Soteriou necesitará una parrilla/horno, refrigerador, mesa de preparación (con charolas calientes y frías para condimentos, acompañamientos y pan de pita), asador vertical



de espita para la carne del gyro, vitrina exhibidora con tiropitas y baklava, y un lugar para los vasos y tazas de las máquinas de autoservicio de bebidas.

La nueva área del comedor incluirá una zona de fumar y otra de no fumar, barra de ensaladas, máquinas de autoservicio de bebidas y área para las filas de la caja. Desde luego, la ubicación de la caja registradora es importante para la distribución de la cocina y del comedor.

Recargado sobre el mango del trapeador, Soteriou contempla el piso limpio y vacío. Ansioso de abrir el nuevo local, ya ordenó todo el equipo que necesita, pero ¿dónde lo colocará? Por desgracia, el equipo llegará mañana por la mañana. Cuando la cuadrilla de mudanza lo coloque en su lugar, reordenarlo va a ser difícil solo para él y su ayudante.

Preguntas

Las matrices de las ilustraciones 6A.16 y 6A.17 muestran la importancia de la cercanía entre el equipo de cocina y el comedor. Con la planeación sistemática de la distribución (con ponderaciones numéricas de referencia) prepare una distribución del piso de la cocina y del comedor del Souvlaki de Soteriou.

ILUSTRACIÓN 6A.16 La cocina.

	Parrilla	Mesa de preparación	Refrigerador	Asador vertical	Vitrina de exhibición
Caja registradora	X	A	X	U	A
Parrilla	–	A	A	U	E
Mesa de preparación	–	–	I	A	U
Refrigerador	–	–	–	U	X
Asador vertical	–	–	–	–	U
Vitrina de exhibición	–	–	–	–	–

ILUSTRACIÓN 6A.17 El comedor.

	No fumar	Fumar	Bebidas	Barra de ensaladas	Área de espera
Caja registradora	U	U	I	I	A
No fumar	–	X	E	E	U
Fumar	–	–	I	I	U
Bebidas	–	–	–	U	U
Barra de ensaladas	–	–	–	–	X
Área de espera	–	–	–	–	–

Fuente: Douglas Stewart preparó este caso. Su objetivo no es mostrar el manejo correcto o incorrecto de los alimentos.

CASO: DISEÑO DE LA LÍNEA DE ENSAMBLE DE LAS COMPUTADORAS NOTEBOOK DE TOSHIBA

Toshihiro Nakamura, gerente de la sección de ingeniería de manufactura, examinó la hoja de procesos de un ensamble prototipo (que se ve en la ilustración 6A.18) para el modelo más reciente de computadora mininotebook. Con cada nuevo modelo introducido, la gerencia tenía la impresión que la línea de ensamble tenía que aumentar la productividad o bajar costos, lo que por lo general requiere cambiar el proceso de ensamble. Cuando se diseñó un nuevo modelo, se dirigió una considerable atención a reducir el número de componentes y simplificar la producción de piezas y las necesidades de ensamble. Esta nueva computadora era una maravilla de alta tecnología, una innovación de bajo costo, que debía dar a Toshiba una ventaja durante la próxima temporada de ventas de otoño/invierno.

El inicio de producción de la mininotebook estaba programado en 10 días. La producción inicial del nuevo modelo sería de 150 unidades diarias con un aumento a 250 unidades por día a la semana siguiente (la administración pensaba que, al final, la producción llegaría a 300 unidades por día). Las líneas de ensamble en la planta normalmente contaban con 10 operadores en una línea de ensamble de 14.4 metros de longitud, podían albergar hasta 12 operadores si fuera necesario y operaba 7.5 horas diarias (los empleados trabajaban de 8:15 a.m. a 5:00 p.m., y el horario normal incluía una hora de tiempo no pagado para tomar alimentos y 15 minutos de descansos programados). Es posible trabajar una, dos o tres horas de tiempo extra, pero los empleados necesitan aviso de al menos tres días de anticipación para planear sus actividades.

ILUSTRACIÓN 6A.18 Prototipo de línea de ensamble para la computadora mininotebook.

Excel: Toshiba

Estación	Opción	Tiempo (s)	Descripción de operaciones
1	1	100	Presentar componentes principales en la banda transportadora
110 s	2	6	Quitar adhesivo posterior del conjunto de la tapa
	3	4	Poner tornillos para Opn 8 en bandeja de espuma, colocar en banda
2	4	50	Escanear código de barras de número de serie
114 s	5	13	Conectar cable LCD 1 a tarjeta impresa LCD (PCB)
	6	16	Conectar cable LCD 1 al panel de pantalla de cristal líquido
	7	13	Conectar cable LCD 2 a tarjeta impresa LCD-PCB
	8	16	Atornillar tarjeta impresa LCD en el conjunto de tapa
	9	6	Poner tornillos para Opns 13 y 16 en bandeja de espuma en banda
3	10	26	Instalar panel de pantalla de LCD en conjunto de tapa
101 s	11	10	Doblar y aislar cables
	12	13	Instalar bastidor de la LCD en conjunto de tapa
	13	23	Atornillar bastidor
	14	6	Poner tarjeta de circuito impreso 1 (PCB-1) en conjunto de base
	15	6	Instalar soporte del CPU en la PCB-1
	16	13	Atornillar soporte del CPU en el conjunto de la base
	17	4	Poner tornillos para Opn 23 en bandeja de espuma
4	18	15	Conectar cable listón a disco duro (HDD)
107 s	19	11	Conectar cable listón a PCB-1
	20	8	Poner hoja aislante sobre disco duro (HDD)
	21	8	Colocar PCB-2 sobre PCB-1
	22	8	Colocar PCB-3 sobre PCB-1
	23	13	Atornillar ambas tarjetas de circuito impreso (PCB)
	24	6	Instalar micrófono de condensador en contenedor
	25	13	Conectar cable de micrófono a PCB-1
	26	8	Poner cinta a cable de micrófono
	27	13	Conectar batería de respaldo a PCB-2 e instalar en base
	28	4	Poner tornillos para Opn 31 en bandeja de espuma
5	29	6	Instalar bastidor de soporte en conjunto de base
103 s	30	13	Colocar PCB-3 sobre PCB-1
	31	6	Atornillar PCB-3
	32	8	Instalar sensor de presión de dispositivo apuntador Accupoint
	33	11	Conectar PCB-5 a PCB-2 y PCB-4
	34	6	Poner contenedor de bocina en base
	35	11	Instalar contenedor de bocina y conectar cable a PCB-2
	36	10	Instalar batería de reloj en PCB-4
	37	10	Poner cinta en bocina y cable de batería
	38	16	Comprobar voltaje de batería de reloj y batería de respaldo
	39	6	Poner tornillos para Opns 44 y 46 en bandeja de espuma
6	40	13	Instalar descanso de muñeca sobre botones Accupoint
107 s	41	6	Conectar cable de la LCD a PCB-1
	42	6	Poner cinta a cable
	43	5	Instalar placa de soporte de teclado a base
	44	23	Atornillar en placa de soporte
	45	18	Instalar teclado, conectar cable y ponerlo en la base
	46	18	Atornillar teclado
	47	8	Instalar mascarilla de teclado
	48	10	Poner cojincillos en mascarilla de la LCD

(*continúa*)

ILUSTRACIÓN 6A.18 Prototipo de línea de ensamble para la computadora mininotebook (*continuación*).

Estación	Opción	Tiempo (s)	Descripción de operaciones
7	49	18	Poner sello protector en pantalla de cristal líquido (LCD)
108 s	50	10	Poner sello de marca en mascarilla de la LCD
	51	11	Poner sello de marca en exterior de cubierta
	52	8	Conectar cable a unidad del disco de DVD
	53	33	Instalar DVD en la base
	54	22	Instalar cubierta en DVD
	55	6	Poner tornillos para Opns 56 y 57 en bandeja de espuma
8	56	58	Voltear máquina y poner tornillos en base
93 s	57	8	Poner tornillo de conexión a tierra
	58	8	Instalar pestaña protectora de conector
	59	8	Instalar conjunto del DVD
	60	6	Instalar tapa de batería en paquete de batería
	61	5	Instalar tapa de batería
9	62	31	Insertar tarjeta de memoria para prueba de equipo y arrancar software
310 s	63	208	Carga de software (no requiere operador)
	64	71	Probar DVD, LCD, teclado y apuntador; remover memoria
10	65	5	Poner unidad en plataforma de prueba de descargas
105 s	66	75	Ejecutar prueba de descargas
	67	10	Escanear códigos de barra
	68	15	Poner unidad en estante para "quema"

Fuente: Adaptado de *Toshiba: Talleres OME*, Harvard Business School (9-696-059).

LÍNEA DE ENSAMBLE

Al principio de la línea de ensamble, una computadora mostraba el programa diario de producción, formado por una lista de tipos de modelo y sus correspondientes tamaños de lote programados para ensamblarse en la línea. Los modelos eran variaciones sencillas de tamaño de disco duro, memoria y potencia de batería. Un programa común de producción abarcaba siete u ocho tipos de modelo, en tamaños de lote que variaban de 10 a 100 unidades. Los modelos se ensamblaban en secuencia: primero todas las unidades del primer modelo, luego todas las unidades del segundo modelo, y así sucesivamente. Esta pantalla de computadora también indicaba a qué distancia a lo largo de la línea de ensamble estaría la producción para completar su programa diario, lo cual servía como guía para quienes manejaban material que suministraba piezas a las líneas de ensamble.

Los programas diarios se compartían con el cercano centro de distribución y recolección de piezas de Fujihashi. Las piezas se compraban a Fujihashi y se llevaban a la planta no más de dos horas antes de que se necesitaran. El sistema de suministro de material estaba coordinado y funcionaba bien.

La línea de ensamble constaba de una banda transportadora de 14.4 metros que llevaba las computadoras, separadas a intervalos de 1.2 metros por franjas blancas marcadas en la banda. Los trabajadores estaban hombro con hombro a un lado de la banda y trabajaban las unidades a medida que pasaban. Además de 10 trabajadores de ensamble, se asignaba a cada línea un trabajador muy capacitado, llamado "apoyador". El apoyador se movía a lo largo de la línea para ayudar a quienes se retrasaran y sustituir a quienes necesitaran un descanso breve. Los apoyadores también decidían qué hacer cuando se presentaban problemas en el proceso de ensamble (por ejemplo, una pieza defectuosa). La velocidad de la línea y el número variaban de un día a otro, según la demanda de producción y la experiencia y disponibilidad de trabajadores. Aunque la línea de ensamble se diseñó para 10 trabajadores, su número variaba entre 8 y 12.

La ilustración 6A.18 detalla la forma como los ingenieros que diseñaron la nueva computadora mininotebook pensaban que debía organizarse la nueva línea. Estos ingenieros supusieron que una mininotebook se ensambla cada dos minutos por 10 trabajadores de la línea. En otras palabras, lo siguiente es una breve descripción de la labor de cada operador:

1. El primer operador presenta los componentes principales de una computadora entre dos líneas blancas en la banda transportadora.
2. El segundo operador introduce los códigos de barras en los componentes de un sistema centralizado de computadora, escaneando los códigos de barras con una "varita mágica". En un estante sobre la banda transportadora, las operaciones ejecutadas en cada estación se exhiben en computadoras notebook.
3. Los siguientes seis pasos del proceso de ensamble comprenden un gran número de operaciones sencillas ejecutadas a mano o con herramientas simples, por ejemplo, destornilladores eléctricos. Las operaciones comunes se hacen con conectores de acción rápida (clic) o conectando piezas con tornillos pequeños. Todas las herramientas cuelgan de un cable sobre los operadores, muy a la mano. Aunque las operaciones individuales son sencillas, requieren destreza manual y agilidad.
4. Las últimas dos operaciones son las pruebas del hardware y descargas eléctricas. En preparación para la prueba de hardware, el operario inserta una tarjeta de memoria en el puerto USB con software diseñado para probar diferentes componen-

tes de los circuitos de la computadora. Como la carga del software de prueba tarda casi cuatro minutos, el tiempo del ciclo de esta operación es más largo que los demás tiempos del ciclo de la línea. Para obtener un tiempo de ciclo más breve para la línea, la prueba del hardware se ejecuta en paralelo en tres unidades. Las unidades permanecen en la banda transportadora en movimiento, y las pruebas se escalonan de modo que las ejecute un solo operador. La prueba de descargas eléctricas (la última operación en la línea de ensamble) verifica la capacidad de la computadora para resistir vibraciones e impactos menores.

Las computadoras van a una estación de "quema" después de la prueba de descargas eléctricas en la línea de ensamble. Aquí las computadoras se ponen en estantes para una "quema" de 24 horas a 25 °C de los componentes de circuitos. Después de la "quema", la computadora se prueba de nuevo, se instala el software y la computadora mininotebook terminada se empaca y se coloca en cajas de madera.

PEQUEÑO RETOQUE DEL DISEÑO INICIAL DE LA LÍNEA DE ENSAMBLE

Por experiencia, Toshihiro sabe que es necesario un ligero retoque al diseño inicial de la línea de ensamble proporcionada por los ingenieros. Considere las siguientes preguntas que se le ocurren a Toshihiro:

1. ¿Cuál es la capacidad diaria de la línea de ensamble diseñada por los ingenieros?
2. Cuando funciona a su máxima capacidad, ¿cuál es la eficiencia de la línea?
3. ¿Cómo debe rediseñarse la línea para que cumpla con el objetivo de 300 unidades por día, si se supone que no hay tiempo extra? ¿Cuál es la eficiencia de su nuevo diseño?
4. ¿Cuáles otros problemas puede considerar Toshihiro cuando suba la nueva línea de ensamble a la velocidad deseada?

Cuestionario

1. Tres términos comunes para referirse a un diseño conforme al cual se agrupan equipos o funciones similares.
2. Diseño según el cual el trabajo para hacer un artículo se dispone en pasos progresivos y la labor se desplaza entre los pasos en intervalos fijos.
3. Medida para evaluar el diseño de un centro de trabajo.
4. Forma de acortar el tiempo de ciclo de una línea de ensamble cuyo tiempo de trabajo es más largo que el tiempo de ciclo deseado. Suponga que no es posible acelerar el trabajo, dividirlo, recurrir a tiempo extra ni rediseñar la labor.
5. Comprende programar varios modelos de un producto para elaborarse de modo cíclico en un día o semana dados en la misma línea.
6. Si se desea producir 20 por ciento de un producto (A), 50 por ciento de otro (B) y 30 por ciento de un tercer producto (C) de modo cíclico, ¿qué horario sugeriría?
7. Término para referirse a los entornos físicos en donde tiene lugar un servicio, y cómo estos entornos afectan a clientes y empleados.
8. Una empresa utiliza una línea de ensamble y necesita producir 500 unidades durante un día de ocho horas. ¿Cuál es el tiempo de ciclo necesario, medido en segundos?
9. ¿Cuál es la eficiencia de una línea de ensamble de 25 trabajadores y un tiempo de ciclo de 45 segundos? Cada unidad producida en la línea tiene 16 minutos de trabajo, que es necesario completar con base en un estudio de tiempo completado por ingenieros en la fábrica.

1. Centro de trabajo, taller o funcional 2. Línea de ensamble 3. Número de movimientos anuales multiplicado por la distancia de cada movimiento, y luego multiplicado por el costo 4. Usar estaciones de trabajo paralelas 5. Equilibrio de una línea de modelo mezclado 6. AABBBBBCCC (y luego se repite) 7. Servicescape 8. 57.6 segundos = (8 × 60 × 60)/500 9.85% = (16 × 60)/(25 × 45)

Bibliografía seleccionada

Heragu, S., *Facilities Design*, Boston, Massachusetts, PWS Publishing Company, 1997.

Hyer, N. y U. Wemmerlöv, *Reorganizing the Factory: Competing through Cellular Manufacturing*, Portland, Oregon, Productivity Press, 2002.

Tompkins, J. A. y J. A. White, *Facilities Planning,* Nueva York, John Wiley & Sons, 2003.

Capítulo 7

PROCESOS DE SERVICIO

Mi semana como camarero del Ritz

Esta sería mi primera prueba de verdad. Había terminado un programa de orientación de dos días y pasado otros tantos siguiendo como sombra a Stephen Posner, camarero veterano del Ritz-Carlton. Me encargaría de entregar el pedido de una cena. Cuando subíamos en el elevador de servicio con una cena ligera para dos —una hamburguesa con queso, una ensalada, una cerveza y una botella de agua mineral— volví a repasar mentalmente las instrucciones de Steve respecto de lo que debía decir y hacer. Advirtió mi entrecejo y, mientras yo manejaba torpemente el carrito de servicio por el pasillo, me aconsejó: "No te veas tan serio. Trata de sentir el ánimo de los huéspedes y actúa en consecuencia."

Después de leer este capítulo, usted:

1. Entenderá las características de los procesos de servicio y los distinguirá de los procesos de manufactura.
2. Elaborará un diagrama de servicio.
3. Demostrará cómo se clasifican los servicios.
4. Explicará la participación del cliente en los servicios.

Llamé a la puerta de la habitación 1036 y tragué saliva.

"Buenas noches, la cena que pidieron para su habitación. Una amable mujer abrió la puerta y yo empujé, en lugar de jalar, el tintineante carrito por el umbral y a punto estuve de tirar la botella de San Pellegrino al hacerlo. La mujer y su marido veían un programa de concursos en la televisión, y cuando Steve le dijo que yo estaba en capacitación, ella trató de relajarme con algún comentario sobre el programa. Sin embargo, no me sobraba capacidad mental para enfrascarme en una conversación trivial. Estaba concentrado en mi labor.

"¿Desea que abra la botella?" pregunté.

"Sí, muchas gracias" repuso la mujer.

Después me quedé ahí parado, con la mandíbula un poco apretada y las manos detrás de la espalda, mientras recorría el carrito con la vista y recordaba la lista de lo que debía hacer a continuación. La dama permaneció ahí de pie como esperando algo. Steve me miraba con cara de interrogación. ¡Ah, ya sé!: ¡Describir lo que les llevé!

Fuente: De Paul Hemp, "My Week as a Room-Service Waiter at the Ritz", *Harvard Business Review*, junio de 2002.

"Traje una ensalada César y una hamburguesa con queso, con la carne término medio" espeté mientras levantaba la campana del plato, "y un poco más de mostaza y salsa ketchup por si las desean".

Steve, ya desesperado porque no acababa de abrir la botella de San Pellegrino, hábilmente tomó la iniciativa y abrió el agua. "Por favor, llamen si necesitan algo más" afirmé, preparándome para salir. La mujer sonrió. Olvidé preguntar si quería que abriera la Heineken. Cuando Steve y yo salimos al pasillo, cerró la puerta y me dijo: "Tenemos que comentar algunas cosas mientras bajamos."

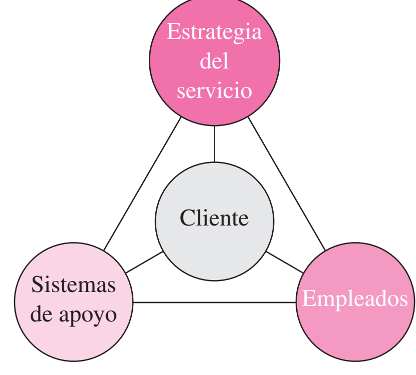
La entrega de alimentos en el Ritz-Carlton es tan solo una fracción visible de una serie de decisiones respecto del diseño de servicios que emanan de su estrategia de servicios. Las compañías más destacadas en servicios, como el Ritz-Carlton, saben que la forma como manejen los detalles de cada etapa de sus operaciones determina el éxito del negocio.

Servicio

En este capítulo, después de algunos comentarios preliminares sobre los servicios, se abordará la cuestión del diseño del sistema de prestación del servicio a partir de la noción del contacto con el cliente como vía para clasificar las operaciones de servicios. Después se tratará del diseño de la organización de servicios, la estrategia del servicio y su enfoque, y se describirá la interrelación entre marketing y operaciones que permite lograr (o no) una ventaja competitiva. También se analiza una matriz para el diseño del sistema del servicio que define las carac terísticas generales del proceso de un servicio, así como los planos de los servicios como manera de diseñar los pasos precisos de un proceso. Más adelante se presentan tres diseños de servicios que emplean las industrias de servicios y se explicará cómo emplear las garantías de servicios como "impulsoras de diseño". El capítulo termina con dos casos que estudian igual número de organizaciones de servicios.

La naturaleza de los servicios

ILUSTRACIÓN 7.1
El triángulo de los servicios.



Un vistazo a la sección de libros de administración de la librería de su localidad es prueba palpable del interés de los profesionales por los servicios. Ahora se ven los servicios y la calidad en forma parecida: el *cliente* es (o debe ser) el punto focal de todas las decisiones y acciones de la organización de servicios. El triángulo de los servicios que presenta la ilustración 7.1 capta muy bien esta filosofía. En ella, el cliente es el centro de todo: la estrategia del servicio, los sistemas y los empleados que brindan el servicio. Visto así, la organización existe para servir al cliente, y los sistemas y empleados, para facilitar el proceso del servicio. Hay quienes sugieren que la organización de servicios también existe para servir a sus trabajadores, porque en general ellos determinan cómo perciben el servicio los clientes. En este sentido, el cliente recibe el tipo de servicio que la gerencia merece; es decir, la forma en que la gerencia trata al trabajador será como el trabajador trate al público. Si la gerencia capacita y motiva bien a los trabajadores, harán un buen papel frente a sus clientes.

Dentro del triángulo, la función de las operaciones es muy importante. Estas son responsables de los sistemas de los servicios (procedimientos, equipo e instalaciones), así como de administrar la actividad de los trabajadores de los servicios, que, por lo general, constituyen la mayor parte de los empleados de las organizaciones grandes de servicios. Sin embargo, antes de explicar esta función más a fondo, conviene clasificar los servicios para apreciar cómo el cliente afecta la función de las operaciones.

Paquete de servicios

Todo servicio tiene un **paquete de servicios**, que se define como un conjunto de bienes y servicios proporcionado en un ambiente. Este conjunto consta de cinco características:[1]

[1] J. A. Fitzsimmons y M. J. Fitzsimmons, *Service Management: Operations, Strategy, Information Technology*, 6a. ed., Nueva York, Irwin/McGraw-Hill, 2008, p. 22.

1. *Instalaciones de soporte:* Son los recursos físicos que deben estar en su lugar antes de ofrecer un servicio. Ejemplos de ello son un campo de golf, un teleférico para esquiadores, una línea aérea y un taller de reparaciones de autos.
2. *Bienes facilitados:* Material que compra o consume el cliente o artículos proporcionados por el cliente. Ejemplos son palos de golf, esquíes, bebidas y piezas para autos.
3. *Información:* Datos o información de operaciones proporcionados por el cliente para que los servicios sean eficientes y personalizados. Ejemplos son horas de salidas en el golf, reportes del clima, registros médicos, preferencias de asientos o disponibilidad de piezas.
4. *Servicios explícitos:* Son los beneficios fácilmente observables por los sentidos y que consisten en características esenciales o intrínsecas del servicio. Ejemplos son el tiempo de respuesta de una ambulancia, el aire acondicionado en un cuarto de hotel, y el funcionamiento impecable de un auto después de afinarlo.
5. *Servicios implícitos:* Son los beneficios psicológicos que el cliente capta solo vagamente, o las características extrínsecas del servicio. Ejemplos son la condición del título de una universidad de gran prestigio, la privacidad de una oficina de préstamos o la reparación sin problemas de un auto.

Clasificación operativa de los servicios

Por lo general, las organizaciones de servicios se clasifican a partir de sus clientes, por ejemplo, si se trata de individuos o de otros negocios, y del servicio que brindan (financiero, médico, transporte, etc.). Si bien estas clasificaciones son útiles para presentar datos económicos agregados, no lo son tanto para efectos de la AOS porque no dicen mucho del proceso. Por otra parte, las manufactureras tienen nombres muy sugerentes para clasificar las actividades de la producción (como producción intermitente y continua); cuando se refieren a un contexto de manufactura transmiten muy bien la esencia del proceso. Si bien es posible describir los servicios en estos mismos términos, necesitaremos un elemento más de información que refleje el hecho de que el cliente participa en el sistema de producción. En opinión de los autores, ese elemento que, en términos operativos, distingue a un sistema de servicios de otro en cuanto a su función de producción es el grado de contacto del cliente para crear el servicio.

El término *contacto del cliente* se refiere a su presencia física en el sistema, y la frase *creación del servicio,* al proceso de trabajo que implica la prestación del servicio mismo. En este caso, cabe definir el *grado de contacto* más o menos como el porcentaje de tiempo que el cliente debe estar dentro del sistema en relación con el tiempo total que se requiere para prestarle el servicio. En términos generales, cuanto mayor sea el porcentaje de tiempo de contacto entre el sistema del servicio y el cliente, tanto mayor será el grado de interacción entre ambos durante el proceso de producción.

Con esta concepción, es lógico pensar que es más difícil controlar y racionalizar los sistemas de servicios con un **grado elevado de contacto con el cliente** que los que tienen un **grado bajo de contacto con el cliente**. En los sistemas de mucho contacto, el cliente afecta el tiempo demandado, la naturaleza exacta del servicio y la calidad (o calidad percibida) del servicio porque él participa en el proceso.

Grados elevado y bajo de contacto con el cliente

La ilustración 7.2 describe las implicaciones de esta diferencia. En ella se ve que la presencia o ausencia del cliente durante la prestación del servicio afecta todas las decisiones del diseño. También se observa que, cuando el trabajo se desempeña tras bambalinas (en este caso, en el centro de procesamiento de un banco), se utilizan sustitutos del cliente, como reportes, bases de datos y facturas. Por tanto, se puede diseñar conforme a los mismos principios que se emplearían al diseñar una fábrica para maximizar el número de elementos procesados durante un día de producción.

ILUSTRACIÓN 7.2 Principales diferencias entre sistemas con mucho y poco contacto en un banco.

Decisión de diseño	Sistema con mucho contacto (sucursal)	Sistema con poco contacto (centro de tramitación de cheques)
Ubicación del local	Las operaciones deben estar cerca del cliente.	Las operaciones pueden estar cerca del suministro, transporte o trabajo.
Distribución de las instalaciones	El local se debe adaptar a las necesidades y expectativas físicas y psicológicas del cliente.	El local se debe concentrar en la eficiencia de la producción.
Diseño del producto	El entorno y el producto físico definen la naturaleza del servicio.	El cliente no está en el entorno del servicio, por lo cual el producto se define en razón de menos atributos.
Diseño del proceso	Las etapas del proceso de producción tienen un efecto inmediato y directo en el cliente.	El cliente no participa en la mayor parte de los pasos del procesamiento.
Programación	El cliente forma parte del programa de producción y debe tener un lugar en ella.	El cliente se interesa sobre todo por las fechas de cumplimiento.
Planeación de la producción	Los pedidos no se pueden almacenar, por lo cual mitigar el flujo de la producción da por resultado que se pierdan negocios.	Es posible atrasar trámites y bajar el ritmo de la producción.
Habilidades de los trabajadores	La mano de obra directa constituye una parte importante del servicio, por lo cual debe tener la capacidad de interactuar bien con el público.	La mano de obra directa solo necesita contar con habilidades técnicas.
Control de calidad	Las normas de calidad suelen depender de la persona que las supervisa y, por ende, son variables.	Las normas de calidad suelen ser mensurables y, por ende, son fijas.
Normas de tiempo	El tiempo del servicio depende de las necesidades del cliente y, por ello, las normas de tiempo son inherentemente laxas.	El trabajo se desempeña con sustitutos del cliente (como formas) y, por ello, las normas de tiempo son estrictas.
Pago de salarios	La producción variable requiere sistemas salariales basados en el tiempo.	La producción "determinable" permite sistemas salariales basados en la producción.
Planeación de la capacidad	Para no perder ventas, la capacidad debe equivaler a la necesaria para la demanda pico.	La posibilidad de almacenar el producto permite establecer la capacidad para un nivel promedio determinado de la demanda.

La influencia de los clientes es muy diversa, y ello explica la variabilidad de los sistemas de servicios dentro de los que tienen mucho contacto. Por ejemplo, una sucursal bancaria ofrece servicios sencillos, como retiros de dinero, que solo tardan un minuto más o menos, y también complicados, como la tramitación de una solicitud de crédito, que llega a tardar más de una hora. Es más, estas actividades varían desde el autoservicio en un cajero automático hasta la coproducción, en cuyo caso el personal del banco y el cliente preparan en equipo la solicitud de crédito.

Diseño de organizaciones de servicios

Cuando se diseñan organizaciones de servicios es preciso recordar una característica distintiva: es imposible llevar inventarios de servicios. A diferencia de las manufacturas, en cuyo caso se pueden crear inventarios durante periodos de poca actividad para después satisfacer con ellos la demanda pico y así mantener un nivel relativamente estable de empleo y planeación de producción, en el caso de los servicios es necesario (salvo contadas excepciones) satisfacer la demanda

cuando se presenta. Por tanto, en el caso de los servicios, la capacidad es un tema dominante. Piense en las abundantes situaciones de servicios que se ha encontrado usted; por ejemplo, cuando come en un restaurante o va al cine el sábado por la noche. En general, si el restaurante o el cine está lleno, usted optará por ir a otro lugar. Así, un parámetro muy importante del diseño de los servicios es: "¿cuánta capacidad debemos tener?" El exceso de capacidad genera costos enormes, y una insuficiente hace perder clientes. Desde luego, en estas situaciones se recurre al marketing. Esto explica las tarifas aéreas con descuento, ofertas especiales de fin de semana en los hoteles, etc. También es una buena ilustración de que, en los servicios, resulte tan difícil separar las funciones de la administración de operaciones del marketing.

Los modelos de una fila de espera, como se explica en el capítulo 7A, representan un estupendo instrumento matemático para analizar muchas situaciones comunes en los servicios. Estos modelos permiten analizar cuestiones como cuántos cajeros se deben tener en un banco o cuántas líneas telefónicas se necesitan en una operación de servicios de internet. Es fácil aplicar los modelos con hojas de cálculo.

Varios factores centrales diferencian entre el diseño y prestación de servicios y el desarrollo característico de los productos manufacturados. En primer término, el proceso y el producto se deben desarrollar en forma simultánea; de hecho, en los servicios, el proceso es el producto [se afirma esto sin olvidar que en general muchos fabricantes utilizan conceptos como ingeniería concurrente y el DPM (diseño para manufactura) como enfoques para vincular de manera más estrecha el diseño del producto y el del proceso].

En segundo lugar, si bien el equipamiento y el software que apoyan un servicio están protegidos por patentes y derechos de autor, la operación del servicio mismo carece de la protección legal que suele existir en el caso de la producción de bienes. En tercer lugar, el paquete de servicios, y no un bien definible, representa el producto principal del proceso de desarrollo. En cuarto, muchas partes del paquete de servicios suelen definirse por la capacitación que los individuos reciben antes de formar parte de la empresa de servicios. En particular, en empresas de servicios profesionales (OSP), como bufetes de abogados y hospitales, es necesario contar con un certificado de estudios para ser contratado. En quinto lugar, muchas organizaciones de servicios cambian los servicios que ofrecen prácticamente de un día para otro. Las empresas de servicios de rutina (OSR), como peluquerías, tiendas minoristas y restaurantes, tienen esta flexibilidad.

Estructuración del encuentro de servicios: matriz para el diseño del sistema de servicios

Existen varios caminos para configurar los encuentros de servicios. La matriz para el diseño del sistema de servicios de la ilustración 7.3 presenta seis opciones frecuentes.

La punta de la matriz muestra el grado de contacto cliente/servidor: el *centro amortiguado*, separado físicamente del cliente; el *sistema permeable*, al que accede el cliente por vía telefónica o en persona; y el *sistema reactivo*, al que accede el cliente y reacciona a sus requerimientos. El lado izquierdo de la matriz presenta la proposición de marketing que, en opinión de los autores, sería la lógica; es decir, cuanto mayor sea la cantidad de contacto, tanto mayor es la oportunidad de vender; el lado derecho muestra las repercusiones para la eficiencia de la producción a medida que el cliente ejerce mayor influencia en la operación.

Las anotaciones en el interior de la matriz enumeran las formas de prestar el servicio. En un extremo, el contacto del servicio es por correo; los clientes tienen poca interacción con el sistema. En el otro extremo, los clientes "hacen lo que quieren" en un contacto personal. Las otras cuatro anotaciones de la matriz contienen grados diversos de interacción.

Como se supondría, la eficiencia de la producción disminuye a medida que el cliente tiene más contacto (y por ende más influencia) en el sistema. Para compensar lo anterior, el contacto personal ofrece una enorme oportunidad de vender productos adicionales. Por otro lado, el contacto lejano, como el correo, permite que el sistema funcione con más eficiencia porque el cliente no puede afectar (ni alterar) el sistema en forma sustantiva. No obstante, hay relativamente pocas posibilidades de realizar ventas de productos adicionales.

ILUSTRACIÓN 7.3 Matriz para el diseño de un sistema de servicios.

Grado de contacto cliente/servidor

Centro amortiguado (ninguno) | Sistema permeable (un poco) | Sistema reactivo (mucho)

Elevada ↑ Oportunidad de vender ↓ Baja

Bajo ↑ Eficiencia de producción ↓ Elevada

Personal totalmente a la medida

Personal con especificaciones laxas

Personal con especificaciones estrictas

Contacto telefónico

Internet y tecnología *in situ*

Contacto por correo

Baja ←→ Elevada

Características de los trabajadores, operaciones e innovaciones respecto del grado de contacto cliente/servidor

Grado de contacto cliente/servidor: Bajo ←→ Elevado

Requerimientos de la mano de obra	Habilidades de oficina	Habilidades de apoyo	Habilidades verbales	Habilidades para procedimientos	Habilidades gremiales	Habilidades de diagnóstico
Enfoque de operaciones	Trámites	Administración de demanda	Guión de llamadas	Control de flujo	Administración de capacidad	Mezcla de clientes
Innovaciones tecnológicas	Automatización de la oficina	Métodos de rutas	Bases de datos de computadoras	Auxiliares electrónicos	Autoservicio	Equipos de cliente/trabajador

La posición de cada anotación se puede cambiar un poco. En el caso del primer ejemplo, piense en la anotación "internet y tecnología *in situ*" de la matriz. Internet sin duda es un amortiguador entre la empresa y el cliente, pero existen interesantes oportunidades para proporcionarle información y servicios relevantes. Como es posible programar el sitio web inteligentemente para que reaccione a las entradas del cliente, hay importantes oportunidades para hacer nuevas ventas. Además, se puede configurar el sistema para que se conecte con empleados reales cuando el cliente necesita ayuda que rebasa la programación del sitio web. Internet es en verdad una tecnología revolucionaria cuando se aplica a los servicios que debe brindar una empresa.

Otro ejemplo de cambios en la posición de una anotación sería la de "personal, con especificaciones estrictas" de la matriz. Esta anotación se refiere a las situaciones en que el proceso del servicio varía poco; ni el cliente ni el servidor tienen mucha discreción para crear el servicio. Los restaurantes de comida rápida y Disneylandia vienen a la mente. La anotación "personal con especificaciones laxas" se refiere a las situaciones en las cuales el proceso del servicio se entiende en general, pero la forma de desempeñarlo o los bienes físicos que forman parte de él ofrecen opciones. Un restaurante con todos los servicios y una distribuidora que vende automóviles son dos ejemplos. La anotación "personal totalmente a la medida" se refiere a los encuentros de servicios cuyas especificaciones se deben preparar mediante cierta interacción entre el cliente y el servidor. Los servicios médicos y jurídicos son de este tipo, y el grado en que se reúnan recursos del sistema para el servicio determina si el sistema es reactivo, quizás al grado de ser hasta proactivo, o tan solo permeable. Algunos ejemplos serían la movilización de recursos de

una agencia de publicidad para que un cliente importante visite una oficina o la presteza de un equipo de cirugía para preparar una operación de urgencia.

La base de la ilustración 7.3 describe los cambios en trabajadores, operaciones y tipos de innovaciones técnicas a medida que cambia el grado de contacto del cliente/sistema del servicio. En el caso de los trabajadores, son evidentes los requerimientos para las relaciones entre el contacto por correo y las habilidades de oficina, la tecnología de internet y las habilidades para apoyar, así como el contacto por teléfono y las habilidades verbales. Las situaciones personales con especificaciones estrictas requieren habilidades para el procedimiento particular, porque el trabajador debe seguir una rutina para desempeñar un proceso general de gran volumen y estandarizado. Las situaciones personales con especificaciones laxas con frecuencia requieren habilidades gremiales (cajeros bancarios, dibujantes, capitanes de restaurante, técnicos dentales) para finalizar el diseño del servicio. La situación personal totalmente a la medida suele requerir habilidades de diagnóstico del profesional para confirmar las necesidades o deseos del cliente.

Usos estratégicos de la matriz

La matriz de la ilustración 7.3 tiene usos operativos y estratégicos. Los operativos se reflejan al identificar los requerimientos de la mano de obra, el enfoque de las operaciones y las innovaciones ya explicados. Algunos usos estratégicos son:

1. Permitir la integración sistemática de las estrategias de operaciones y de marketing. Los retos resultan más claros y, sobre todo, más importantes cuando se cristalizan algunas variables importantes del diseño para efectos del análisis. Por ejemplo, la matriz indica que no tendría mucho sentido, en lo que se refiere a las ventas, que una empresa de servicios invierta en trabajadores muy capacitados si piensa operar con especificaciones estrictas.
2. Definir la combinación exacta de servicios que en realidad brinda la empresa. A medida que la compañía incorpora las opciones para la prestación que aparecen en la línea diagonal, se diversifica en su proceso de producción.
3. Permitir la comparación con la manera en que otras empresas brindan servicios específicos. Así se detecta la ventaja competitiva de la empresa.
4. Indicar los cambios evolutivos o del ciclo de vida que pudieran ser necesarios a medida que la empresa crece. Sin embargo, a diferencia de la matriz de procesos y productos de las manufacturas, en cuyo caso el crecimiento natural avanza en una dirección (del centro de trabajo a la línea de ensamble conforme se incrementa el volumen), la evolución de la prestación de un servicio adopta cualquiera de las dos direcciones a lo largo de la diagonal como resultado de un equilibrio entre ventas y eficiencia.

Servicio virtual: el nuevo papel del cliente

La matriz del diseño de sistemas de servicios se desarrolló desde la perspectiva del aprovechamiento de los recursos de una empresa en el sistema de producción. Con el advenimiento de servicios virtuales por internet, es necesario no solo explicar las interacciones del cliente con un negocio, sino también su interacción con otros clientes. Como sugiere Scott Sampson, profesor de la BYU, tenemos dos categorías de contacto: *contacto virtual puro con el cliente*, mediante el cual las empresas como eBay y SecondLife posibilitan que los clientes interactúen entre ellos en un ambiente abierto, y *contacto virtual mixto y real con el cliente,* conforme al cual los clientes interactúan entre sí en un ambiente moderado por un facilitador, como los grupos de discusión de productos, YouTube y Wikipedia. En estos ambientes, el desafío para la gerencia de operaciones es mantener la tecnología funcionando y actualizada, y vigilar los encuentros que tienen lugar.

Planos de servicios y protección contra fallas

El instrumento estándar para el diseño de procesos de servicios, igual que el diseño de procesos de manufactura, es el diagrama de flujo. Desde hace poco, los gurúes de los servicios afirman,

Plano de servicios

con intención de destacar la importancia del diseño de procesos, que el diagrama de flujo es un **plano de servicios**. Una característica singular del plano de un servicio es la diferencia que establece entre los aspectos de un servicio que tiene mucho contacto con el cliente (las partes del proceso que ve el cliente) y las actividades que no ve. Esta diferencia se marca con una "línea de visibilidad" en el diagrama de flujo.

La ilustración 7.4 es el plano de una operación característica de un taller de automóviles. Cada actividad que constituye un encuentro normal de servicios se anota en el diagrama de flujo. Para apreciar mejor la entidad que controla las actividades, el diagrama muestra niveles. El nivel superior consta de actividades que controla el cliente. Después van las actividades que desempeña el gerente del taller cuando trata con el cliente. El tercer nivel representa las actividades de reparación que desempeña el taller, y el nivel más bajo, la actividad de la contabilidad interna.

Poka-yokes

El plano básico describe las características del diseño de servicios, pero no hay líneas directas que indiquen cómo lograr que el proceso se ajuste al diseño. Una forma de abordar este problema es aplicar **poka-yokes**: procedimientos que impiden que los errores inevitables se conviertan en un defecto del servicio.[2] Los *poka-yokes* (que en japonés significa "evitar erro-

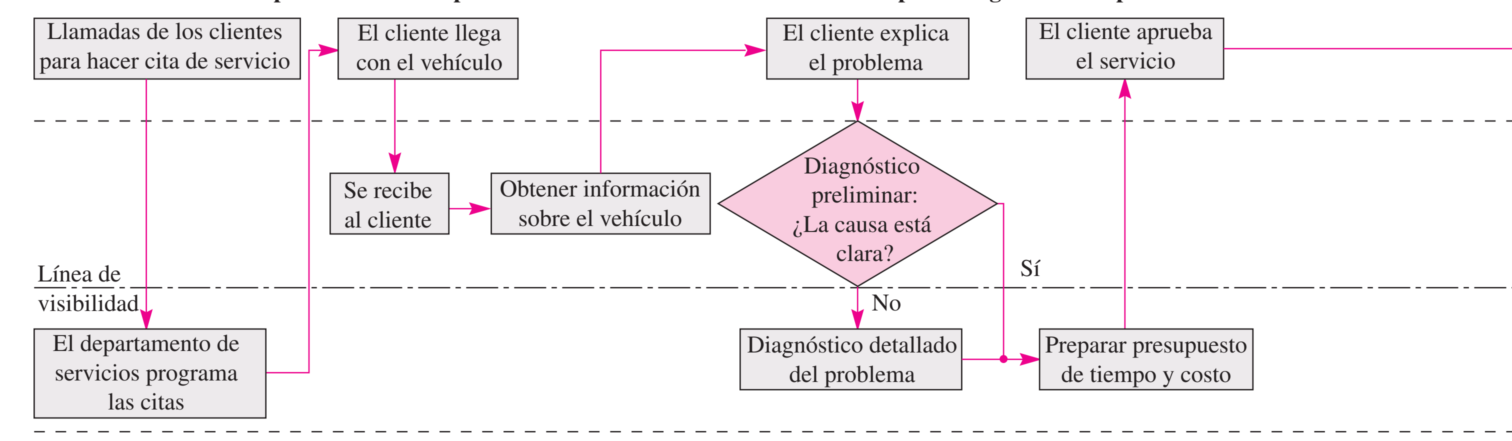
ILUSTRACIÓN 7.4 Cómo impedir fallas de operación en un taller de automóviles.

Falla: El cliente olvida que necesita un servicio.
Poka-yoke: Enviar un recordatorio automático con 5% de descuento.

Falla: El cliente no encuentra el área del servicio o no sigue el flujo correcto.
Poka-yoke: Letreros claros que indiquen a los clientes el camino que deben seguir.

Falla: El cliente tiene dificultad para comunicar su problema.
Poka-yoke: Inspección conjunta; el asesor del servicio repite lo que entendió que es el problema para que el cliente lo confirme o abunde en el tema.

Falla: El cliente no entiende el servicio que necesita.
Poka-yoke: Material impreso de la mayoría de los servicios, que detalla los motivos para el trabajo, tal vez con una representación gráfica.



Falla: El cliente se presenta sin previo aviso.
Poka-yoke: Instalar un timbre automático para anunciar las llegadas.

Falla: No se atiende a los clientes en orden de llegada.
Poka-yoke: Colocar números en los autos conforme llegan.
Falla: La información sobre el vehículo fue incorrecta y el proceso consume mucho tiempo.
Poka-Yoke: Elaborar una base de datos de los clientes y formas impresas con información histórica.

Falla: Diagnóstico equivocado del problema.
Poka-yoke: Lista de comprobación de alta tecnología, como sistemas expertos y equipamiento de diagnóstico.

Falla: Presupuesto incorrecto.
Poka-yoke: Listas de verificación que enumeran costos de tipos comunes de reparación.

[2] R. B. Chase y D. M. Stewart, "Make Your Service Fail-Safe", *Sloan Management Review*, primavera de 1994, pp. 35-44.

res") son comunes en las fábricas (en el capítulo 9, "Calidad Six-Sigma", hay ejemplos), y están compuestos por cosas como aditamentos para garantizar que las piezas solo se puedan unir del lado correcto, interruptores electrónicos que desconectan automáticamente el equipo cuando ocurre un error, presentación de piezas antes de montarlas para asegurarse de que se utilizan las cantidades correctas y listas para comprobar que se sigue la secuencia correcta de pasos.

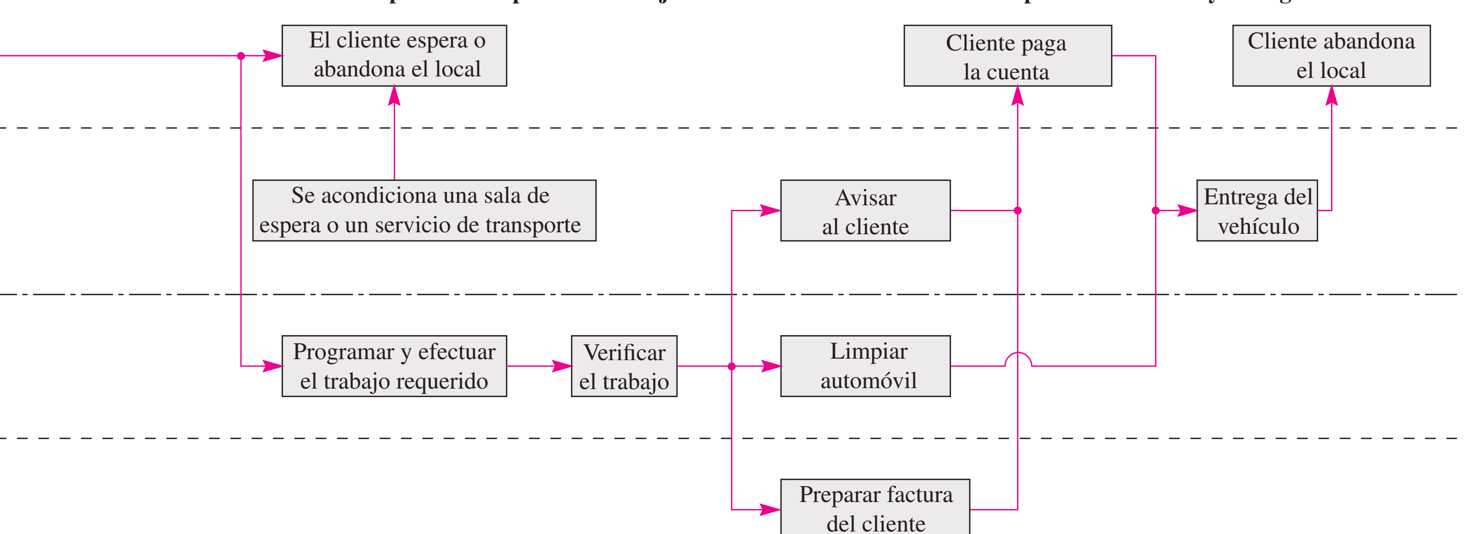
También existen muchas posibilidades para aplicar los poka-yokes a los servicios, las cuales se clasifican como métodos de aviso, métodos de contacto físico o visual, y las llamadas *tres t: t*area por realizar (¿el automóvil quedó bien reparado?), *t*rato al cliente (¿el gerente del taller fue cortés? y características *t*angibles del entorno del local de servicios (¿el área de espera estaba limpia y era cómoda?). Por último, a diferencia de los poka-yokes de las manufacturas, los de los servicios a menudo deben aplicarse para evitar fallas en las acciones del cliente y del trabajador del servicio.

Algunos ejemplos de poka-yokes son las barras para medir la estatura en los parques de diversión, las charolas con bajorrelieve de los cirujanos para asegurarse de que no olvidaron un instrumento dentro del paciente, las cadenas para configurar las filas de espera, los sistemas de

Falla: Imposible localizar al cliente.
Poka-yoke: Enviar avisos por localizadores de radio a los clientes que desean abandonar el local.

Falla: Factura ilegible.
Poka-yoke: Entregar al cliente la primera copia o una nota de remisión.

Falla: No hay realimentación.
Poka-yoke: Entregar al cliente, junto con las llaves de su vehículo, un cuestionario para medir su satisfacción.



Falla: El servicio de transporte no es cómodo.
Poka-yoke: Asignar asientos disponibles en el transporte al programar la cita. La falta de espacio indica que se debe programar a otra hora a los clientes que necesitan el servicio de transporte.
Falla: No hay existencias de las piezas necesarias.
Poka-Yoke: Interruptores de límite activan luces que señalan que el nivel de una pieza está por debajo del punto de un nuevo pedido.

Falla: El vehículo no se lavó bien.
Poka-yoke: La persona que recoge el vehículo lo revisa, manda que se termine bien la labor en caso necesario y retira del piso el tapete de protección en presencia del cliente.

Falla: El vehículo tarda mucho en llegar.
Poka-yoke: Cuando la cajera escribe el nombre del cliente para imprimir la factura, se envía información electrónicamente a los ayudantes, que se apresuran a traer el vehículo del cliente mientras paga.

cintas con turnos impresos, los torniquetes, los timbres de los cajeros automáticos para recordar a las personas que retiren su tarjeta, los timbres de los restaurantes para garantizar que los clientes escuchen su turno de mesa, los espejos en los teléfonos para asegurar una "voz sonriente", las llamadas para recordar citas, los seguros en las puertas de los baños de las líneas aéreas que activan la luz interior, los pequeños regalos en sobres con tarjetas de comentarios para fomentar que los clientes proporcionen realimentación acerca de un servicio y las fotos de "habitaciones limpias" para pequeños de jardín de niños.

La ilustración 7.4 explica cómo la operación habitual de un taller de automóviles puede evitar fallas mediante poka-yokes. Un comentario final: estos procedimientos no garantizan el grado de protección contra errores tanto como en la fábrica, pero sí los reducen en muchas situaciones de servicios.

Tres diseños de servicios contrastantes

Tres enfoques contrastantes para brindar un servicio *in situ* son el enfoque de línea de producción, que popularizó McDonald's Corporation, el enfoque de autoservicio, que los cajeros automáticos y las gasolineras hicieran famoso, y el enfoque de atención personalizada, que divulgaron las tiendas de departamentos Nordstrom y los hoteles Ritz-Carlton.

ENFOQUE DE LÍNEA DE PRODUCCIÓN

El enfoque de la línea de producción que inició McDonald's abarca mucho más que los pasos necesarios para preparar una Big Mac. En cambio, como señala Theodore Levitt, aborda la entrega de comida rápida como proceso de manufactura y no de servicios.[3] El valor de esta filosofía es que supera muchos problemas propios del concepto mismo del servicio. Es decir, servicio implica subordinación o sometimiento del servidor al servido; por otra parte, la manufactura no conlleva esta connotación porque se concentra en cosas y no en personas. Por tanto, en la manufactura y en McDonald's, "la orientación es a la producción eficiente de resultados y no a la atención a terceros". Levitt señala que además de las habilidades financieras y de marketing, McDonald's

Línea de producción de la información

En un artículo publicado en *Harvard Business Review*, Uday Karmarkar afirma que la tecnología ahora permite una clase diferente de línea de producción. "Olvídese de la carretera de la información, la ley de Moore y las maravillas inalámbricas. En lugar de eso, piense que la tecnología crea una línea de ensamble de la información. Hoy la información puede estandarizarse, crearse a la medida, ensamblarse por componentes, escogerse, empacarse, almacenarse y enviarse, todo ello con procesos similares a los de la manufactura". Como ejemplo, describe cómo se puede reconfigurar por completo el proceso de imagenología de diagnóstico, que antes implicaba múltiples actividades manuales, con un paciente que recorría todo el hospital, y ahora es una actividad donde "un técnico escanea al paciente en un lugar cómodo, con una máquina a la entrada de una tienda o incluso en un camión móvil. Las imágenes se envían por vía electrónica al radiólogo que efectúa diagnósticos, que puede estar en una clínica a muchos kilómetros de distancia, o directamente al médico tratante. El software de reconocimiento de voz transcribe el diagnóstico, o las transcripciones se realizan en el extranjero. Están en desarrollo herramientas de software inteligente para contribuir al diagnóstico real y algún día incluso pueden ocupar el lugar del radiólogo para determinadas circunstancias".

Fuente: Uday Karmarkar, "Will You Survive the Services Revolution?", *Harvard Business Review*, mayo-junio de 2004, p. 102.

[3] T. Levitt, "Production-Line Approach to Service", *Harvard Business Review* 50, núm. 5, septiembre-octubre de 1972, pp. 41-52.

controla con cuidado "la ejecución de la función central de cada establecimiento: la entrega rápida de una mezcla uniforme de alimentos preparados de gran calidad, en un entorno evidentemente limpio, ordenado y amable. La sustitución sistemática de personas por equipo, que se combina con el uso y ubicación de tecnología, se planeó cuidadosamente y permite a McDonald's atraer clientela y retenerla en proporciones sin precedente y que nadie ha logrado imitar".

Para ilustrar los conceptos, Levitt menciona varios aspectos de las operaciones de McDonald's. Observe la abundante presencia de los llamados poka-yokes.

- La freidora de McDonald's permite preparar la cantidad óptima de papas de una sola vez.
- Se usa un cucharón de boca ancha para tomar la cantidad exacta de papas fritas, según el tamaño de cada pedido. (El empleado jamás toca el producto.)
- El espacio de almacenamiento está diseñado de manera expresa para una mezcla predeterminada de productos medidos y empacados previamente.
- Con los amplios recipientes para basura en el interior y el exterior de cada local se fomenta la limpieza. (Los establecimientos más grandes tienen barredoras motorizadas para el estacionamiento.)
- El color de las envolturas de las hamburguesas sirve de código para identificarlas.
- Todo se diseñó con una minuciosa atención a la distribución total y la planeación de las instalaciones, de manera que se integre a la máquina (McDonald's) misma y a la tecnología del sistema. La única opción del empleado es operar exactamente como lo pensaron los diseñadores. Si se aplica la matriz para el diseño de un sistema de servicios (ilustración 7.3), este servicio se clasificaría como personal con especificaciones estrictas.

ENFOQUE DE AUTOSERVICIO

En contraste con el enfoque de la línea de producción, C. H. Lovelock y R. F. Young sostienen que es posible mejorar el proceso del servicio si se permite que el cliente desempeñe un papel mayor en su producción.[4] Los sitios web de empresas, cajeros automáticos, gasolineras de autoservicio, barras de ensaladas y boletos electrónicos son enfoques que trasladan la carga del servicio al consumidor. En nuestra matriz para el diseño del sistema de servicios, se trata de magníficos ejemplos del uso de internet y tecnología *in situ*. A muchos clientes les gusta el autoservicio porque les permite tener el control. Otros piensan que esta filosofía requiere que la empresa de servicios convenza a los clientes de que es útil para ellos. Con este fin, Lovelock y Young proponen una serie de pasos, entre ellos ganar la confianza del cliente, promover los beneficios de costo, velocidad y comodidad, y seguimiento para confirmar que los procedimientos se usan con eficacia. En esencia, esto hace que los clientes se conviertan en "empleados parciales" que deben recibir capacitación para saber lo que deben hacer y, como ya se mencionó, se deben incluir elementos "a prueba de fallos" en caso de que se presenten errores.

ENFOQUE DE ATENCIÓN PERSONAL

Las tiendas de Departamentos Nordstrom y la compañía de hoteles Ritz-Carlton ofrecen un contraste interesante en la forma de brindar atención personal.

En Nordstrom, un proceso poco estructurado y más bien laxo se basa en establecer una relación entre un vendedor individual y el cliente (es un servicio personal por completo a la medida). En el Ritz-Carlton, el proceso prácticamente sigue un guión y el sistema de información, en lugar del empleado, sigue el rastro de las preferencias personales del huésped (cliente) (es un ejemplo de servicio personal con especificaciones laxas). Tom Peters describe así el enfoque de Nordstrom:

[4] C. H. Lovelock y R. F. Young, "Look to Customers to Increase Productivity", *Harvard Business Review* 57, núm. 2, marzo-abril de 1979, pp. 168-178.

Tras varias visitas de un cliente al departamento de ropa para caballero de una tienda, el traje seguía sin quedarle bien. Por tal motivo, le escribió al presidente de la empresa y este envió un nuevo traje a la oficina del cliente, con un sastre para que se lo probara. Después de hacer los ajustes necesarios, el cliente recibió el traje sin cargo alguno.

Esto sucedió en Nordstrom, minorista especializado en ropa con sede en Seattle, con un valor de 8 300 millones de dólares. Sus ventas por metro cuadrado son alrededor de cinco veces mayores que las de una tienda de departamentos habitual. ¿Quién recibió la carta del cliente y propició la respuesta extrema (según otros parámetros)? El copresidente, John Nordstrom.

Los empleados de piso de este magnífico servicio perciben muy buenos sueldos. Los vendedores de Nordstrom ganan un par de dólares más por hora que los de la competencia, además de una comisión de 6.75%. Su vendedor estrella mueve mercancía por dos millones de dólares al año. Nordstrom vive para sus clientes y vendedores. Su único organigrama oficial coloca al cliente en la cima, seguido del personal de ventas y de apoyo a ventas. Luego están los gerentes de departamento, después los gerentes de tiendas, y el consejo de administración está en la base.

Los vendedores llevan consigo religiosamente un "libro personal" en el cual anotan mucha información acerca de cada cliente. El sistema les ayuda a lograr su meta de obtener un cliente nuevo al día. Todo vendedor cuenta con un presupuesto prácticamente ilimitado para enviar tarjetas, flores y notas de agradecimiento a los clientes. También tienen alicientes para acompañar a su cliente mientras recorre cualquier departamento de la tienda para asistirle en un exitoso viaje de compras.

También tienen el apoyo de una política de devoluciones que se podría calificar como la más liberal en este negocio o en cualquier otro: acepte la devolución de *cualquier* cosa, sin preguntas. Betsy Sanders, la vicepresidente que dirigió la entrada de la empresa en el mercado de California, sostiene que "confiar en los clientes" o, como ella los llama, "nuestros jefes" es vital para la filosofía de Nordstrom. El presidente, Jim Nordstrom, declaró a *Los Angeles Times*: "No me importa si llegan a la tienda rodando un neumático de Goodyear. Si dicen que pagaron 200 dólares, devuélvales 200 dólares (en efectivo) por ella". Sanders reconoce que pocos clientes engañan a la tienda: "rasgan nuestras medias", según una frase común en el interior de la empresa. Esos casos se compensan con creces por la buena fe de más de 99% de los que se benefician del logotipo "No hay problema en Nordstrom", que la compañía cumple con celo incuestionable.

No hay burocracia que entorpezca la posibilidad de atender al cliente. ¿Política? Sanders explica ante un grupo atónito de ejecutivos de Silicon Valley: "Sé que esto enloquece a los abogados, pero nuestro 'manual de políticas' completo es un enunciado sencillo: 'Aplique su buen juicio en todas las ocasiones'". El gerente de una tienda ofrece una traducción: "No mastique chicle. No nos robe".[5]

Los siguientes extractos del resumen de la postulación de la compañía para el Premio Baldrige y una charla con Scott Long del hotel Ritz Carlton Huntington de Pasadena, California, describen el enfoque de la empresa. La ilustración 7.5 presenta el procedimiento formal del servicio (los Tres Pasos del Servicio). La ilustración 7.6 presenta el sistema de información con que se capturan datos de los huéspedes ("Programa de historia de huéspedes asiduos de Ritz-Carlton"). Advierta que los tres pasos del servicio se integraron al sistema de información del historial del huésped.

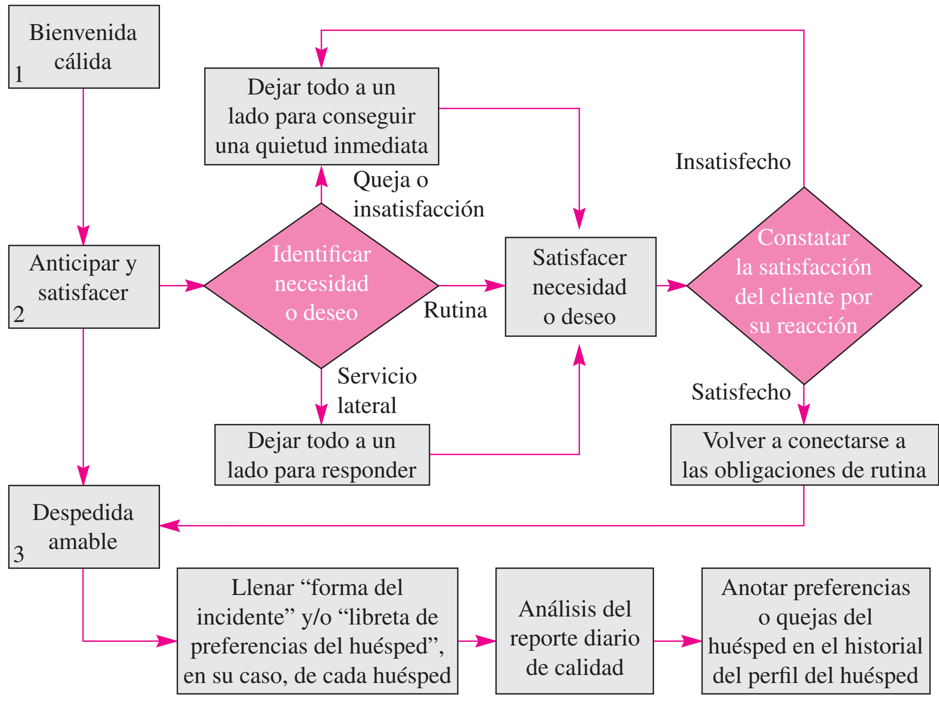
Los sistemas para recopilar y aprovechar información sobre la reacción y satisfacción de los clientes están profusamente desplegados por toda la organización y se utilizan mucho. Nuestros esfuerzos se concentran en diversos segmentos de clientes y líneas de productos.

Nuestro enfoque consiste en utilizar sistemas que permitan que todo empleado recabe y procese datos relativos a la calidad todos los días. Estos sistemas proporcionan datos críticos para las respuestas, como los siguientes:

1. *Información en línea de las preferencias de los huéspedes.*
2. *Cantidad de productos y servicios sin errores.*
3. *Oportunidades para mejorar la calidad.*

[5] T. Peters, *Quality!,* Palo Alto, California, TPC Communications, 1986, pp. 10-12.

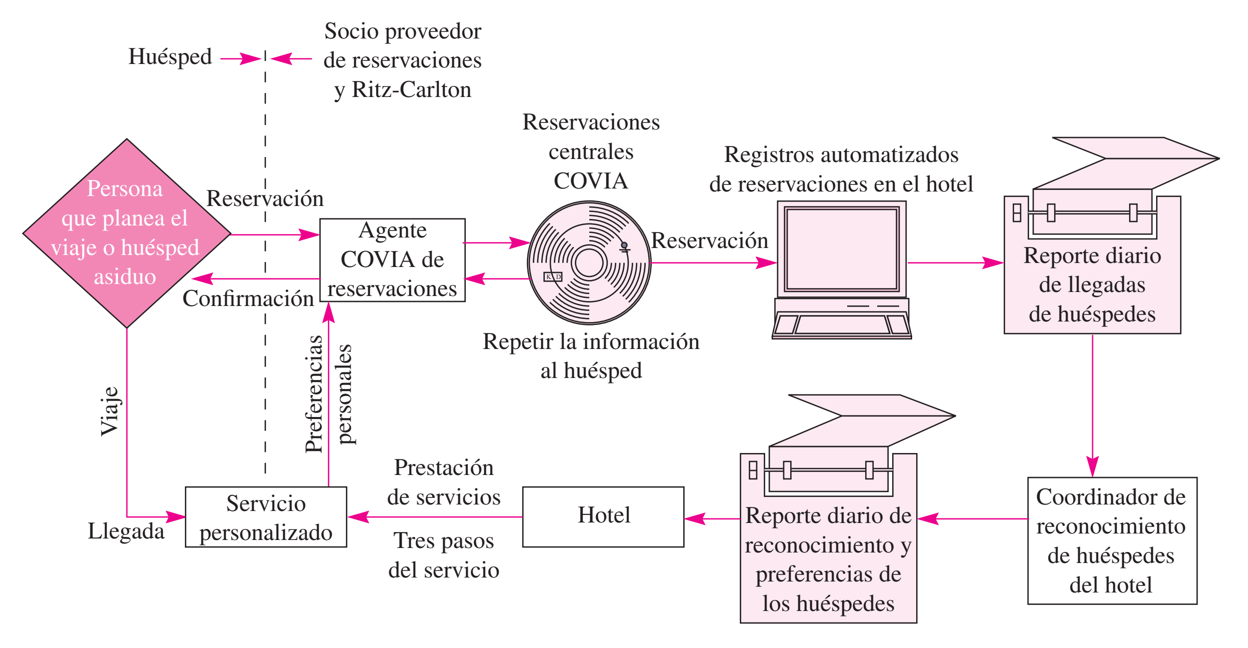
ILUSTRACIÓN 7.5 Ritz-Carlton Hotel Company (tres pasos del servicio).



Fuente: Ritz-Carlton.

Nuestros sistemas automatizados de administración del inmueble permiten el acceso en computadora y el procesamiento de información acerca de las preferencias de los huéspedes por cliente individual. Todos los empleados recaban e ingresan estos datos y los usan como parte de sus actividades cuando brindan el servicio a los huéspedes individuales.

ILUSTRACIÓN 7.6 Programa de historia de huéspedes asiduos de Ritz-Carlton (como auxiliar para un servicio muy personalizado).



Fuente: Ritz-Carlton Malcolm.

Siete características de un sistema de servicios bien diseñado

1. **Cada elemento del sistema del servicio es congruente con el enfoque de operaciones de la empresa.** Por ejemplo, cuando el enfoque es la rapidez de entrega, cada paso del proceso debe contribuir a acelerar la velocidad.
2. **Es fácil para el usuario.** Esto significa que el cliente interactúa con él sin problema; es decir, tiene indicaciones adecuadas, formas inteligibles, pasos lógicos en el proceso y personal de apoyo disponible para despejar dudas.
3. **Es sólido.** Es decir, maneja con eficacia las variaciones de la demanda y las existencias de recursos. Por ejemplo, si la computadora colapsa, hay sistemas de respaldo eficaces para que el servicio continúe.
4. **Está estructurado de modo que permite que su personal y sus sistemas mantengan un desempeño consistente con facilidad.** Esto significa que las tareas que deben desempeñar los trabajadores son factibles y que las tecnologías de apoyo de verdad son confiables.
5. **Ofrece vínculos eficaces entre la oficina interior y la abierta al público de modo que nada quede atorado.** En términos de futbol americano: "nunca se debe dejar caer el balón".
6. **Administra la evidencia de calidad del servicio de modo que los clientes aprecien el valor brindado.** Muchos servicios hacen una estupenda tarea tras bambalinas, pero no logran que el cliente la vea. Esto es especialmente cierto cuando se mejora un servicio. Si los clientes no perciben la mejoría con una comunicación explícita al respecto, es poco probable que el desempeño mejorado tenga su impacto máximo.
7. **Es rentable.** Casi no se desperdicia tiempo ni recursos al brindar el servicio. Aunque el resultado del servicio sea satisfactorio, los clientes muchas veces se sienten decepcionados de una empresa de servicios que parece ineficiente.

Nuestro sistema de reportes de producción de calidad es el método para agregar los datos al hotel, provenientes de cerca de dos docenas de fuentes, en un formato resumido. Sirve como sistema de aviso oportuno y facilita el análisis. Los procesos de los empleados para identificar oportunidades de mejoras de la calidad están en un libro de texto, disponible en todo lugar de nuestra organización.[6]

Sea cual fuere el enfoque para diseñar un servicio, es evidente que se necesitan las características del servicio que se presentan en el recuadro "Siete características de un sistema de servicios bien diseñado".

Administración de las variaciones introducidas por los clientes

Una decisión de los gerentes de servicios es cuánto deben tratar de incluir la variabilidad que introduce un cliente al proceso. El enfoque general es abordar esta decisión como un equilibrio entre costo y calidad. Una mayor inclusión implica mayor costo; una menor inclusión, clientes menos satisfechos. Francis Frei sugiere que esta clase de análisis estrecho pasa por alto las rutas de que disponen las empresas para incluir al cliente, sin descuidar los costos.[7] En su opinión, para realizarlos, la empresa primero debe determinar cuál de las cinco clases de variabilidad provoca las dificultades en las operaciones y, acto seguido, elegir, de los cuatro posibles, el tipo de inclusión más eficaz.

Las cinco clases básicas de variabilidad, junto con algunos ejemplos, son la *variabilidad de llegada*: clientes que llegan a la tienda cuando hay muy pocos empleados para brindarles un servicio expedito (la clase de variabilidad que se aborda con el análisis de las filas de espera en el capítulo 7A); *variabilidad de solicitud*: viajeros que solicitan una habitación con vista en un hotel muy lleno; *variabilidad de capacidad*: pacientes que no logran explicar sus síntomas al médico; *variabilidad de esfuerzo*: compradores que no se molestan en colocar los carritos de sus

[6] *Ritz-Carlton Malcolm Baldrige National Quality Award Application Summary*, 1993, p. 6.

[7] Francis X. Frei, "Breaking the Trade-Off between Efficiency and Service", *Harvard Business Review* 84, núm. 11, noviembre de 2006, pp. 93-101.

compras en la zona correspondiente del estacionamiento del supermercado; y *variabilidad de preferencias subjetivas*: clientes de bancos que consideran que se les llame por su nombre de pila es señal de amabilidad, mientras que a otros les parece una informalidad poco seria.

Las cuatro estrategias básicas de inclusión son la *clásica*, que implica, por ejemplo, una mayor cantidad de empleados, o empleados con habilidades adicionales para compensar las variaciones entre clientes; *inclusión de bajo costo*, con la cual se contrata a mano de obra barata o se recurre a la subcontratación y autoservicios con el fin de recortar su costo; *reducción clásica*, que requiere, por ejemplo, que los clientes participen más en forma de autoservicio, utilicen sistemas de reservación o adapten sus expectativas; y *reducción sin compromiso*, la cual aprovecha el conocimiento del cliente para efectuar procedimientos que permiten un buen servicio al tiempo que reduce el efecto de la variabilidad en el sistema de prestación del servicio. La ilustración 7.7 presenta las tácticas de cada una de las cuatro categorías de inclusión.

En la ilustración 7.7 se aprecia que la buena administración de las variaciones por lo general requiere que la empresa influya en la conducta del cliente. Netflix es un ejemplo de lo anterior para manejar la variabilidad de los periodos de alquiler de los DVD. Su competidora Blockbuster aplica el enfoque clásico de imponer multas cuando hay incumplimiento en las devoluciones (lo cual genera tensión en el cliente), pero el modelo de suscripción de Netflix permite a los clientes tener el DVD tanto tiempo como deseen. El incentivo del cliente para regresar las películas es

ILUSTRACIÓN 7.7 Estrategias para administrar la variabilidad introducida por los clientes.

	Inclusión clásica	Inclusión de bajo costo	Reducción clásica	Reducción sin compromiso
Llegada	• Garantizar que haya suficientes empleados disponibles	• Contratar a mano de obra barata • Automatizar tareas • Subcontratar el contacto con los clientes • Crear opciones de autoservicio	• Requerir reservaciones • Ofrecer buenos precios fuera de horarios pico • Limitar la disponibilidad de servicios	• Crear demanda complementaria para mitigar las llegadas sin que los clientes cambien su conducta
Peticiones	• Garantizar que haya suficientes empleados con habilidades especializadas disponibles • Capacitar a los empleados para resolver peticiones de diversos tipos	• Contratar a mano de obra especializada que cueste menos • Automatizar tareas • Crear opciones de autoservicio	• Requerir reservaciones de los clientes para clases específicas de servicios • Convencer a los clientes de que moderen sus expectativas • Limitar la envergadura de los servicios	• Limitar la envergadura de los servicios • Dirigirse a los clientes con base en sus peticiones
Capacidad	• Garantizar que haya suficientes empleados capaces de adaptarse a los distintos niveles de habilidad de los clientes • Hacer el trabajo en lugar de los clientes	• Contratar a mano de obra más barata • Crear opciones de autoservicio que no requieran habilidades especiales	• Requerir que los clientes incrementen su capacidad antes de utilizar el servicio	• Dirigirse a los clientes con base en su capacidad
Esfuerzo	• Garantizar que haya suficientes empleados capaces de compensar la falta de esfuerzo de los clientes • Hacer el trabajo en lugar de los clientes	• Contratar a mano de obra más barata • Crear opciones de autoservicio mediante una amplia automatización	• Fomentar, con premios y sanciones, que los clientes se esfuercen más	• Dirigirse a los clientes con base en la motivación • Fomentar, con un enfoque normativo, que los clientes se esfuercen más
Preferencia subjetiva	• Garantizar que haya suficientes empleados capaces de diagnosticar las diferentes expectativas y adaptarse en consecuencia	• Crear opciones de autoservicio que permitan la personalización	• Convencer a los clientes de que adapten sus expectativas para ceñirlas a la proposición de valor	• Dirigirse a los clientes con base en sus preferencias subjetivas

Fuente: Francis X. Frei, "Breaking the Trade-Off between Efficiency and Service", *Harvard Business Review* 84, núm. 11, noviembre de 2006, p. 97.

que puede obtener la siguiente que haya solicitado en su lista. Así, este enfoque incluye la conducta del cliente y, al mismo tiempo, asegura las ganancias.

Aplicación de la ciencia conductual a los encuentros de servicios

La buena administración de los encuentros de servicios requiere que los administradores entiendan lo que el cliente percibe, así como las características técnicas de los procesos del servicio. Chase y Dasu[8] sugieren aplicar los conceptos conductuales para mejorar las percepciones de los clientes respecto de tres aspectos del encuentro: *el flujo de la experiencia del servicio* (lo que sucede), *flujo de tiempo* (el tiempo que parece transcurrir) y *juzgar el desempeño del encuentro* (lo que después se piensa del asunto). Reflexionar en el encuentro del servicio desde esta perspectiva generó los seis principios conductuales para el diseño y administración del encuentro del servicio que se presentan a continuación:

1. **El inicio y el final del encuentro no son iguales.** En general, se piensa que el inicio y el final de un servicio, o lo que se conoce como puntos extremos de los servicios, tienen el mismo peso en la opinión del cliente. Una buena cantidad de investigaciones revela que no es así. Si bien al inicio es esencial para que el desempeño alcance un nivel básico de satisfacción de modo que el cliente permanezca a lo largo de todo el servicio, es probable que una empresa salga mejor librada con un inicio relativamente bajo y un alza modesta final que un inicio estupendo y un final mediocre. Esto encaja con dos hallazgos importantes de la teoría conductual respecto de las decisiones: la preferencia por la mejoría y el efecto dominante del final en la memoria. La influencia desproporcionada del final conlleva a un principio corolario: terminar con una nota ascendente. Algunos ejemplos de empresas que "cierran fuerte" son Malaysian Airlines, que prodiga atenciones a la hora de recoger el equipaje y en el transporte terrestre con intención de dejar al cliente con una grata sensación; una compañía de alacenas de cocina que coloca cintas de brillantes colores cuando termina un trabajo de instalación y un bonito ramo de flores; las líneas de cruceros que al final de cada día ofrecen rifas, concursos y espectáculos, terminan el crucero con una cena con el capitán y regalan recuerdos o botellas de vino cuando regresan al puerto de origen. Todas estas estrategias se pensaron para lograr una buena interacción final. En la misma tónica, pero en relación con experiencias no tan agradables, las investigaciones muestran que si se prolonga sin dolor una colonoscopia un minuto más con el aparato una vez terminado el procedimiento, mejora en gran medida la percepción que los pacientes tenían del procedimiento. (Observe que en este caso en realidad se extiende el tiempo de la molestia y que, sin embargo, la percepción general es mejor que cuando se suspende el procedimiento de inmediato.)
2. **Segmente el placer y combine el dolor.** Sin duda no es fácil esta separación pero, según el tipo de encuentro, quizá sea lo más conveniente. Los acontecimientos parecen más largos cuando están segmentados. Esto sugiere que todo mundo querría dividir las experiencias placenteras en múltiples etapas y combinar las desagradables en una sola. Por lo mismo, es sensato, por decir algo, que al acudir a una clínica se reduzca el número de etapas aunque el tiempo de la visita se alargue un poco, y se ofrezcan dos paseos de 90 segundos en Disneylandia en lugar de uno de tres minutos.
3. **Permita al cliente controlar el proceso.** Delegar el control del proceso a la gente aumenta su satisfacción. En el terreno de la medicina, permitir que una persona elija el brazo del que le sacarán una muestra de sangre disminuye el dolor que percibirá. En ciertos trabajos de reparación, una persona tal vez prefiera elegir la fecha en que se programa su trabajo a que se efectúe de manera correcta.
4. **Preste atención a normas y rituales.** Es probable que gran parte de la culpa de un fracaso se atribuya a la infracción de las normas. Esto es particularmente cierto en los servicios profesionales con procesos y resultados que el cliente no puede comprobar con claridad y,

El hotel Mónaco en Chicago pretende impresionar a sus huéspedes durante su estadía. Se les entrega su propio pez en una pecera para que se sientan como en casa.

[8] Richard B. Chase y Sriram Dasu, "Want to Perfect Your Company's Service? Use Behavioral Science", *Harvard Business Review* 72, núm. 6, mayo-junio de 2001, pp. 78-84.

por lo mismo, es fundamental que se respeten las normas para evaluarlo. Así, se espera que los despachos de asesores presenten su trabajo ante el jefe aunque este no tenga demasiada relación con el problema en estudio. En estas presentaciones, todos los miembros del equipo del cliente reciben una felicitación por haber brindado su ayuda, a pesar de que no hayan estado muy dispuestos a colaborar en el trabajo.

5. **Es más fácil culpar a las personas que a los sistemas.** Cuando las cosas salen mal, la reacción instintiva es culpar al servidor y no al sistema. Se desea dar un rostro humano al problema. Esto salta a la vista en especial en los servicios complejos, cuando el cliente no descifra muy bien lo que ocurre tras bambalinas o dentro del sistema. Con frecuencia, el cliente que llega tarde a un vuelo reclama que el funcionario de la puerta tiene la culpa de que haya perdido el vuelo a pesar de que la regla de la asociación de líneas aéreas establece que nadie puede abordar un avión 15 minutos antes del despegue. (Un corolario de este principio es que "perderlo es peor que tenerlo". Es decir, si alguien llega tarde para recibir un servicio es más conveniente no decir, "lo lamento, pero acaba de perderlo".)
6. **Cuando se recupera el servicio, la sanción debe corresponder a la infracción.** ¿Cómo se compensa un error en un encuentro? Las investigaciones revelan que la acción más adecuada para recuperarlo depende de que sea un error en la tarea (resultado) o uno de trato (proceso personal). Un error en una tarea dicta una retribución material, y el trato incorrecto por parte de un servidor, una disculpa. Es poco probable que sea eficaz revertir las acciones de recuperación. Por ejemplo, si un centro de copiado hace un mal trabajo por supuesto que es necesario ofrecer una disculpa de inmediato, pero lo más importante es que repita el trabajo y, tal vez, compensar al cliente de alguna manera por las molestias provocadas. Por otro lado, si el trabajo de copiado es muy bueno pero el empleado fue grosero, es mucho más probable que una disculpa sincera del gerente y del empleado satisfaga al cliente que entregarle un cupón para un trabajo gratis o alguna otra pequeña compensación tangible.

Garantías de servicio como impulsoras de diseño

La frase "tenga la plena seguridad de que mañana mismo lo recibirá" es un ejemplo de garantía de un servicio que casi todo mundo sabe de memoria. Tras estas palabras del marketing que promete satisfacción hay toda una serie de medidas que la empresa de operaciones debe tomar para cumplir lo prometido.

Miles de empresas recurren a las **garantías de servicio** como instrumento de marketing cuyo fin es tranquilizar a los clientes que no están seguros de probar ese servicio. Desde la perspectiva de las operaciones, la garantía de un servicio no es solo un instrumento para mejorar, sino también, en la etapa del diseño, para concentrar el sistema de prestación de la empresa de lleno en las cosas que debe hacer bien para satisfacer al cliente.

Garantías de servicio

Incluso los negocios de servicios profesionales, como Rath and Strong Consulting, garantizan sus servicios. (Este despacho permite que el cliente elija de una lista de pagos en caso de que, por ejemplo, no reduzcan un porcentaje determinado el tiempo muerto. Las opciones de la lista incluyen reembolsos y no cobrar por las horas extra necesarias para terminar el trabajo.)

Los elementos de una buena garantía de servicio son que no imponga condiciones (nada de letra pequeña), sea interesante para el cliente (la retribución cubre ampliamente su descontento), sea fácil de comprender y comunicar (a empleados y clientes), y no cueste trabajo hacerla válida (se otorgue de forma proactiva).[9]

Investigaciones recientes sobre las garantías de servicios llevan a las siguientes conclusiones:[10]

1. Cualquier garantía es mejor que ninguna garantía. Las garantías más eficaces son buenas ofertas. A los ojos del cliente, colocan a la empresa en situación de riesgo.
2. Cliente y empleados participan en el diseño.

[9] C. W. L. Hart, "The Power of Unconditional Service Guarantees", *Harvard Business Review* 56, núm. 4, julio-agosto de 1988), p. 55.

[10] Gordon H., G. McDougall, T. Levesque y P. VanderPlaat, "Designing the Service Guarantee: Unconditional or Specific?", *The Journal of Service Marketing* 12, núm. 4, 1998, pp. 278-293.

3. Su lenguaje no es muy complejo ni legaloide. Las letras son grandes, jamás pequeñas.
4. La empresa no se esconde ni discute cuando un cliente quiere hacer válida su garantía.
5. Dejan en claro que con gusto se atenderá a los clientes que quieran hacer válida su garantía.

Un tema de creciente importancia en los servicios es la responsabilidad ética, y quizá legal, de la empresa de brindar en efecto el servicio que promete. Por ejemplo, ¿una línea aérea es responsable de transportar a un pasajero que tiene una reservación garantizada cuando hay sobreventa en su vuelo? Piense también en la responsabilidad del prestador de servicios de internet de ofrecer suficientes líneas telefónicas para que los clientes no reciban la señal de ocupado cuando tratan de conectarse al servicio. Estos temas son difíciles, porque es muy costoso tener exceso de capacidad. Es prácticamente imposible prever la demanda con gran precisión y ello dificulta calcular la capacidad que se necesitará.

Con un instrumento muy potente (el análisis de filas de espera) se comprenden mejor las relaciones entre los factores y que impulsan el sistema del servicio. Entre estos factores se encuentra la cantidad promedio de clientes que llega en un periodo, el tiempo promedio que tarda atender a cada cliente, la cantidad de servidores y la información sobre el tamaño de la población de clientes. Se crearon modelos de filas de espera que permiten calcular el tiempo de espera y la utilización supuesta de los recursos. Este es el tema del capítulo 7A.

Resumen

En este capítulo se demostró que los negocios de servicios en muchos sentidos son muy semejantes a los negocios fabriles, así como la necesidad de compromisos para elaborar una estrategia. Por ejemplo, el enfoque es importante para el éxito, tal como lo es para el diseño de los sistemas de manufactura.

La matriz para el diseño del sistema de servicios se parece en muchos sentidos a la matriz de procesos y productos con que se categorizan las operaciones de manufactura. Asimismo, los instrumentos de los diagramas de flujo y el análisis de la capacidad también son similares.

Sin embargo, los servicios son muy distintos de las manufacturas cuando se piensa en el alto grado de personalización que en ocasiones requieren, la rapidez de entrega necesaria, el contacto directo con el cliente y la variabilidad inherente del encuentro de servicio. Los mecanismos de amortiguación y de programación con que se nivela la demanda impuesta a una operación de manufactura no suelen estar disponibles para la operación de servicios. Por lo general, los servicios deben tener un nivel mucho mayor de capacidad en relación con la demanda. Además, los servicios imponen la necesidad de que quienes participan en la prestación de servicios tengan un grado mucho mayor de flexibilidad.

Conceptos clave

Paquete de servicios Conjunto de bienes y servicios proporcionado en algún ambiente.

Grados elevado y bajo de contacto con el cliente La presencia física del cliente en el sistema y el porcentaje de tiempo que debe permanecer en él en relación con el tiempo total que tarda brindar el servicio.

Plano de servicios Diagrama de flujo del proceso de un servicio, el cual destaca lo que está visible para el cliente y lo que no lo está.

Poka-yokes Procedimientos que impiden que los errores se vuelvan defectos. Son comunes en las manufacturas, pero también se utilizan en los procesos de servicios.

Garantías de servicios Promesa de satisfacción con el servicio, respaldada por un conjunto de medidas que se deben tomar para cumplir esa promesa.

Preguntas de repaso y análisis

1. ¿Cuál es el paquete de servicios de su colegio o universidad?
2. ¿Cómo es que la competencia de precios y variedad cambiaron la fórmula básica de éxito de McDonald's?
3. ¿Una empresa de servicios puede aplicar el enfoque de línea de producción o diseño de autoservicio y aún así permanecer muy enfocada en el cliente (atención personal)? Explique su respuesta y respáldela con ejemplos.

4. ¿Por qué la evaluación de un gerente de la oficina central de un banco debe ser diferente a la del gerente de una sucursal?
5. Identifique las operaciones de mucho contacto o escaso contacto de los servicios siguientes:
   a) Consultorio dental.
   b) Aerolínea.
   c) Despacho de contadores.
   d) Agencia de automóviles.
   e) Amazon.com
6. ¿Existen negocios de servicios que no se verían afectados si subcontrataran el conocimiento?
7. Piense en la explicación de las ciencias conductuales y mencione los consejos prácticos que daría al gerente de un hotel para mejorar el final de la estadía de un huésped.
8. Enumere algunas ocupaciones o actos deportivos en los cuales el final sea un elemento dominante para evaluar el éxito.
9. Los expertos en cuestiones conductuales sostienen que las personas recuerdan los hechos como fotografías, no como películas. ¿Cómo aplicaría esto a la hora de diseñar un servicio?
10. Hay quienes sugieren que la expectativa del cliente es la llave del éxito de un servicio. Ofrezca un ejemplo de algo que haya experimentado que respalde o refute esta afirmación.
11. ¿En qué lugar de la matriz para el diseño del sistema de servicios ubicaría una iglesia a cuyas misas usted puede asistir desde su auto, una máquina expendedora de alimentos en una universidad y una máquina automática para mezclar bebidas en un bar?
12. ¿Un fabricante puede ofrecer una garantía de servicio además de la garantía del producto?
13. Suponga que es el gerente de un restaurante y una pareja que está cenando le dijera, sin mentir, que vio un ratón. ¿Qué les diría? ¿Cómo se recuperaría de esta crisis en el servicio?
14. En su opinión, ¿qué estrategia emplean las siguientes empresas para administrar la variabilidad introducida por los clientes?
   a) eBay
   b) Hoteles Ritz-Carlton
   c) Nuevos procedimientos para registrarse en las aerolíneas

Problemas

1. Coloque las siguientes funciones de una tienda de departamentos en la matriz para el diseño del sistema de servicios: ventas por correo (es decir, por catálogo), por teléfono, de hardware, de papelería, de ropa, de cosméticos y de servicios al cliente (como recepción de quejas).
2. Haga lo mismo que en el problema anterior pero con un hospital con las actividades y relaciones siguientes: médico/paciente, enfermera/paciente, facturación, registros médicos, estudios de laboratorio, admisiones y estudios de diagnóstico (como rayos X).
3. Efectúe una rápida auditoría de los servicios la próxima vez que vaya de compras a una tienda de departamentos. Evalúe las tres T del servicio: tarea, trato y características tangibles del servicio con una escala de 1 (malo), 3 (promedio) y 5 (excelente). Recuerde que las características tangibles incluyen la distribución y el aspecto de la tienda, no los bienes que haya comprado.
4. EJERCICIO DE DESCRIPCIÓN DE UN SISTEMA
   El primer paso para estudiar un sistema de producción es preparar una descripción. Una vez descrito el sistema se tienen mejores posibilidades de determinar por qué funciona bien o mal y de recomendar mejoras para la producción. Como casi todos conocemos restaurantes de comida rápida, intente describir el sistema de producción que emplea, por decir, McDonald's. Para hacerlo, responda las preguntas siguientes:
   a) ¿Cuáles son los aspectos importantes del paquete de servicios?
   b) ¿Qué habilidades y actitudes debe tener el personal del servicio?
   c) ¿Cómo se modifica la demanda de los clientes?
   d) Presente un plano general del sistema de prestación. (No es necesario que proporcione tiempos de ejecución, solo elabore un diagrama del flujo básico por el sistema.) Critique el plano. ¿Contiene pasos innecesarios o es posible eliminar puntos propensos a fallar?
   e) ¿La conexión cliente/servidor se puede cambiar de modo que incluya más tecnología? ¿Más autoservicio?
   f) ¿Con qué medidas se evalúa el servicio? ¿Cuáles pueden usarse?
5. ¿Cuáles son las diferencias entre los negocios de servicios con mucho o poco contacto con los clientes (SCC), en general, en las dimensiones que se presentan a continuación? (Ejemplo: Distribución en las instalaciones: en un servicio con mucho contacto, las instalaciones están diseñadas para aumentar

las sensaciones y la comodidad del cliente, mientras que en uno con poco contacto, las instalaciones se diseñan para un procesamiento eficiente).

	Negocio con poco contacto	**Negocio con mucho contacto**
Habilidad de la mano de obra		
Utilización de la capacidad		
Grado de automatización		

Caso: Pizza USA. Ejercicio para trasladar los requerimientos de los clientes a requerimientos del diseño de procesos

Un tema central de la administración contemporánea de las operaciones es el *enfoque en el cliente*. Por lo general, esto se entiende como que, si la empresa se concentra en sus clientes y es capaz de brindar lo que el cliente quiere de manera rentable, esa empresa tendrá éxito. Lo difícil es saber lo que en realidad desea el cliente; tan difícil como traducir lo que el cliente quiere a un producto que se le pueda brindar (es decir, una combinación de bienes y servicios) y diseñar un conjunto de procesos que brinden de modo consistente el producto de manera rentable. Por último, un reto adicional es conectar la administración de estos productos y los procesos necesarios para obtener los resultados deseados del negocio de la empresa.

El ejercicio siguiente trata de ilustrar lo difícil que llega a ser todo lo anterior.

Contexto

Pizza USA es una cadena de pizzerías que en la actualidad ofrece servicio en mesa y para llevar. Muchos clientes afirman que comprarían más en Pizza USA si tuviera un servicio de entrega a domicilio. El ejercicio tiene dos partes. En la parte I, usted será el cliente, y en la parte II, el gerente de Pizza USA, encargado de preparar los requerimientos del diseño del proceso de entrega de pizzas a domicilio.

Parte I

Para empezar, usted tiene que pensar *como* cliente. Esto no será difícil porque sin duda tiene experiencia *llamando para que le lleven una pizza a domicilio*. ¡Ponga esa experiencia a trabajar! ¡Enliste los atributos de la *entrega de pizzas a domicilio* importantes para usted *COMO CLIENTE*!

Como ya se mencionó, esto será fácil. ¿No es así? Al preparar su lista tome en cuenta lo siguiente:

> ¿Qué debe cumplir el servicio de entrega de pizzas a domicilio para que quede razonablemente satisfecho? Además de quedar razonablemente satisfecho, ¿qué puede hacer el servicio de entrega de pizzas a domicilio que lo hiciera realmente único y creara una ventaja diferencial? En otras palabras, ¿qué puede hacer el servicio de entrega de pizzas a domicilio para que usted SIEMPRE ordene las suyas a un servicio particular (y quizá pague más por ese privilegio)?

Cuando elabore su lista, recuerde que considera *exclusivamente el servicio de entrega a domicilio* y NO las pizzas en sí. Suponga que la pizzería elabora todo tipo de pizzas (y acompañamientos) que usted pueda querer.

Parte II

Ahora, considere que es el *gerente de Pizza USA*. Para esta parte del ejercicio debe formar equipo con otros estudiantes. Primero, con las listas de todos los miembros de su equipo, creen una lista maestra. Después, traten de agrupar los puntos de su lista en una serie de títulos generales; por ejemplo, "estado de la pizza entregada", "entrega rápida y puntual" o "exactitud del pedido", etc. Por último, enliste los "requisitos del diseño del proceso de entrega de pizzas a domicilio" que su proceso de entrega de pizzas a domicilio tendrá que cumplir. Cuando lo haga, piense en elementos mensurables; es decir, ¿qué mediría para asegurarse de que su proceso opera con eficacia y eficiencia? ¿Por qué considera útiles estas medidas?

A continuación se presentan algunos ejemplos de cómo sería parte de este análisis. Los requerimientos de un cliente pueden ser que la *pizza debe estar caliente cuando la reciba.* El hecho es que en el momento que la pizza sale del horno se empieza a enfriar. Por tanto, ¿cómo impedir que la temperatura baje de un mínimo antes de que llegue a sus clientes?

Tarea

1. Haga una lista de los atributos de la entrega de pizzas a domicilio importantes para usted como cliente.
2. Combine su lista con las de algunos miembros de su grupo y clasifiquen los puntos en una serie de títulos principales.
3. Haga una lista de los requerimientos del diseño del proceso para la entrega de pizzas a domicilio. Asocie a cada requerimiento una medida que garantice que el proceso cumplirá con el requerimiento.
4. Diseñe un proceso que cumpla con sus requerimientos. Descríbalo con una gráfica de flujo similar a las que presentan las ilustraciones 7.4, 7.5 y 7.6.

Fuente: Muchas gracias a Mark Ippolito, de Indiana University-Purdue University, Indianápolis, por aportar este ejercicio.

Caso: Los centros de contacto deben aprender una lección de los negocios locales

En mi pueblo natal ahora hay tres tiendas de *bagels,* dos de las cuales son muy rudimentarias. Venden *bagels*, queso crema y café. Los *bagels* son buenos, pero nada del otro mundo.

El tercer establecimiento forma parte de una cadena grande, de la zona de Boston, y sus *bagels* también son buenos. El negocio con frecuencia tiene áreas para niños y una amplia zona con mesas y

juegos, periódicos gratis y espacio para sentirse a gusto y relajarse. Además, y sobre todo, tiene un sistema compuesto por una banda que corre a todo lo largo del mostrador (entre la caja registradora y la operación de "embarrado"), con una enorme cuchilla circular en el centro. Cuando se piden los *bagels*, se colocan en la banda, la cuchilla los rebana a la mitad y viajan a toda velocidad hasta el final de la banda. En pocas palabras, el tercer establecimiento no es solo un negocio de *bagels*, sino también de entretenimiento.

Sin embargo, no volveré a comprar en ese negocio... Cuando menos 30% de las veces que hemos comprado ahí, el pedido llegó equivocado. Los encargados de untar el queso crema en ese lugar quizá sean los embarradores más estresados que haya visto jamás. El terror que reflejan sus rostros debido a la constante presión de los *bagels* rebanados que avanzan hacia ellos a toda prisa por la banda se parece a la expresión del rostro de los representantes de servicio al cliente en muchísimos centros de llamadas telefónicas.

¿Ocurre esto en su centro de llamadas? Piénselo un poco. El sistema que hace tan rentable al tercer negocio acaba de costarle un cliente que yo calificaría de muy rentable.

En mi pueblo natal también hay una ferretería (de hecho hay dos). En el siguiente pueblo hay un Home Depot, al que he ido muchos fines de semana, pero ya no lo haré. El fregadero de la cocina tuvo una gotera que se presentaba y desaparecía a lo largo de seis meses, a pesar de que se había reparado. La idea de formarme en línea en Home Depot una vez más en espera de un servicio y buscar entre lo que me parecían miles de codos para encontrar el correcto no era lo que esperaba para el fin de semana.

Así que cambié de plan y acudí a la ferretería del pueblo. Como esperaba, los precios eran casi el doble de los que cobra Home Depot, pero el servicio fue magnífico, sobre todo la parte en que el gerente del departamento de plomería me sugirió un truquito para evitar que el codo fallara. Tomé mi costoso codo, me dirigí a casa, apliqué su sugerencia y en cinco minutos terminé. Desde entonces nada de goteras.

Preguntas

1. ¿Qué lecciones enseñan estos dos ejemplos a los gerentes de centros de (llamadas) contacto?
2. ¿Qué dilemas plantean resolver estos problemas en el contexto de un centro de llamadas telefónicas?

Fuente: Modificado de Chris Selland, *Customer Relationship Management* 8, núm. 4, abril de 2004, p. 22.

Cuestionario

1. En general, los sistemas de servicio se clasifican según esta característica que se relaciona con el cliente.
2. Un triángulo de servicio consta de estas cuatro características.
3. Marco que se relaciona con el sistema del encuentro de servicio al cliente.
4. Característica clave que distingue un plano de servicios respecto de un diagrama de flujo normal.
5. ¿Qué tipo de servicio, en el paquete de servicios, es hacer que su equipaje llegue a tiempo cuando su avión aterrice en un aeropuerto?
6. SecondLife sería este tipo de servicio virtual.
7. Con esto, un sistema es a prueba de errores.
8. Los tres pasos de servicio de Nordstrom.
9. ¿Cuáles son las cuatro estrategias para manejar la variabilidad inducida por el cliente?
10. ¿Con qué nombres se conoce al paso inicial y al paso final en un encuentro de servicio?

1. Contacto con el cliente 2. Estrategia de servicio, sistemas de apoyo, empleados, cliente 3. Matriz del diseño de sistemas de servicio 4. Línea de visibilidad 5. Servicio implícito 6. Contacto solo virtual con el cliente 7. Poka-yokes 8. Bienvenida cálida, anticipación y satisfacción, despedida afectuosa 9. Inclusión clásica, inclusión de bajo costo, reducción clásica, reducción sin compromisos 10. Puntos extremos de los servicios

Bibliografía seleccionada

Baker, S. y M. Kripalani, "Software: Will Outsourcing Hurt America's Supremacy?", *BusinessWeek*, 1 de marzo de 2004, pp. 85-94.

Chase, R. B., "The Customer Contact Approach to Services: Theoretical Bases and Practical Extensions", *Operations Research* 21, núm. 4, 1981, pp. 698-705.

Chase, R. B. y U. Apte, "A History of Research in Service Operations: What's the Big Idea?", *Journal of Operations Management*, marzo de 2007, pp. 375-386.

Chase, R. B. y S. Dasu, "Want to Perfect Your Company's Service? Use Behavioral Science", *Harvard Business Review* 72, núm. 6, mayo-junio de 2001, pp. 78-84.

Chase, R. B. y D. M. Stewart, "Make Your Service Fail-Safe", *Sloan Management Review*, primavera de 1994, pp. 35-44.

Fitzsimmons, J. A. y M. J. Fitzsimmons, *Service Management: Operations, Strategy, and Information Technology*, 6a ed., Nueva York, Irwin/McGraw-Hill, 2008.

Frei, F. X., "The Four Things a Service Business Must Get Right", *Harvard Business Review* 86, núm.4, abril de 2008, pp. 70-81.

Goldhar, J., Y. Braunstein y D. Berg, "Services Innovation in the 21st Century: It All Begins with Defining Services vs. Products and Factory vs. Service Operations", University of California-Berkeley, Service Innovation Conference, 26-28 de abril de 2007.

Karmarkar, U., "Will You Survive the Services Revolution?", *Harvard Business Review*, mayo-junio de 2004, pp. 99-107.

Metters, R., K. King-Metters y M. Pullman, *Successful Service Operations Management*, 2a. ed., Mason, Ohio, Thomson South-Western Publishing, 2005.

Capítulo 7A

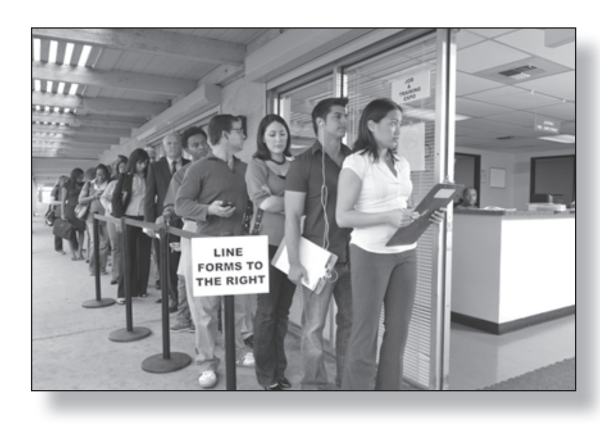
ANÁLISIS DE LAS FILAS DE ESPERA

Después de leer este capítulo, usted:

1. Describirá el análisis de líneas de espera (filas).
2. Modelará algunas situaciones comunes de filas y estimará la utilización del servicio y la longitud de una fila, y promediará el tiempo de espera de los clientes.

Uno de los campos más importantes de la administración de operaciones es comprender las líneas de espera o **filas** y aprender a administrarlas. Es fundamental para crear programas, diseñar puestos, nivelar inventarios, etc. En la economía de servicios, la gente espera en distintas filas todos los días, desde que se dirige al trabajo en automóvil hasta salir del supermercado. También hay filas de espera en las fábricas; los trabajos esperan en fila su procesamiento en diferentes máquinas y estas esperan su turno de revisión. En pocas palabras, las filas de espera están por todas partes.

Filas



En este capítulo se abordan los elementos básicos de los problemas de las filas de espera y se presentan fórmulas estándar de estado constante para resolverlos. Estas fórmulas, resultado de la teoría de filas, permiten a los planificadores analizar los requerimientos del servicio y establecer las instalaciones adecuadas para las condiciones planteadas. La teoría de filas es lo bastante amplia para abarcar demoras tan disímiles como las de los clientes en un centro comercial o en un avión en espera de aterrizar en la pista correspondiente.

Economía del problema de las filas de espera

Un problema central en muchos contextos de servicios es la administración del tiempo de espera. El administrador debe ponderar el costo adicional de brindar un servicio más rápido (más carriles de tráfico, más pistas de aterrizaje, más cajas de salida) respecto del costo inherente de la espera.

Servicio

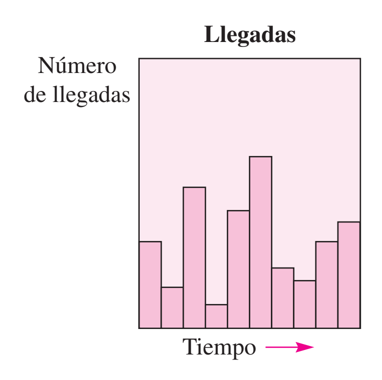
Con frecuencia, la decisión del equilibrio de estos costos es muy sencilla. Por ejemplo, si se observa que el tiempo total que los empleados se forman en espera de usar una copiadora lo pueden destinar a actividades productivas, se compararía el costo de instalar otra copiadora con el valor del tiempo que ahorren los empleados. Así, la decisión se reduciría a términos de dólares y sería fácil tomar la decisión.

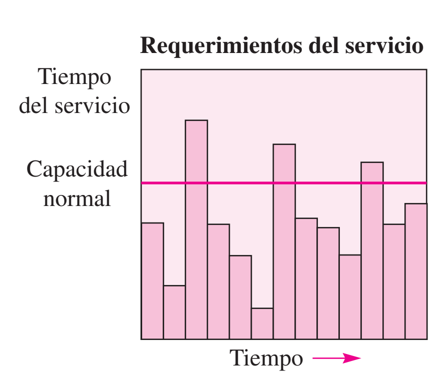
Por otro lado, suponga que su problema de la fila de espera radica en la demanda de camas de un hospital. El costo de las camas adicionales se calcula al sumar los costos de construir un edificio, el equipamiento adicional requerido y el incremento de mantenimiento. Pero, ¿cuál es el otro lado de la balanza? En este caso se enfrenta el problema de asignar una cantidad de dinero a la necesidad del paciente que requiere una cama de hospital que no está disponible. Si bien es posible estimar el ingreso que pierde el hospital, ¿qué decir del costo humano que se deriva de la falta de una atención hospitalaria oportuna?

VISIÓN PRÁCTICA DE LAS FILAS DE ESPERA

Antes de pasar a la presentación técnica de la teoría de las filas de espera conviene analizar el aspecto intuitivo de la cuestión para entender su significado. La ilustración 7A.1 muestra

ILUSTRACIÓN 7A.1 Perfiles de llegadas y servicios.





las llegadas a un local de servicios (como un banco) y los requerimientos de servicios de ese local (como cajeros y gerentes de crédito). Una variable importante es el número de llegadas en las horas que el servicio está abierto. Desde el punto de vista de la prestación del servicio, los clientes demandan distintas cantidades de servicio que muchas veces exceden la capacidad normal. Es posible controlar las llegadas de distintas maneras. Por ejemplo, es posible tener una línea corta (como en un restaurante de comida rápida de servicio en el coche, que solo tiene unos cuantos espacios), establecer horarios específicos para clientes específicos o hacer ofertas especiales. En el caso del servidor, el tiempo del servicio se altera con personal más ágil o lento, máquinas más rápidas o lentas, diferentes herramientas, distinto material, diferente distribución, tiempo de preparación más expedito, etcétera.

El punto esencial de las líneas de espera es que *no* son una condición fija de un sistema productivo, sino que en gran medida se controlan por medio de la administración y diseño del sistema. Algunas sugerencias para administrar filas, basadas en investigaciones del sector bancario, son:

- **Segmente a los clientes.** Si un grupo de clientes necesita algún servicio rápido, ofrézcales una fila especial, de modo que no tengan que esperar por los clientes que requieren servicios más lentos.
- **Capacite a sus servidores a ser amables.** Recibir a los clientes por su nombre o con alguna otra forma de atención especial ayuda mucho a superar el sentimiento negativo que produce una espera larga. Los psicólogos sugieren que se enseñe a los servidores cuándo deben recurrir a acciones amigables específicas, como sonreír cuando reciben a los clientes, tomar pedidos y entregar el cambio (por ejemplo, en una tienda de abarrotes). Las pruebas que aplican estas acciones conductuales específicas demuestran que, en la percepción de los clientes, se registran incrementos sustantivos respecto a la amabilidad de los servidores.
- **Informe a sus clientes lo que pueden esperar de la situación.** Esto reviste especial importancia cuando el tiempo de espera va a ser más largo de lo normal. Explíqueles por qué será más larga la espera y lo que se hace para aligerarla.
- **Trate de distraer al cliente mientras espera.** Ofrecer música, un video o alguna otra forma de entretenimiento puede distraer la atención de los clientes del hecho de que están esperando.
- **Sugiera a los clientes que acudan al establecimiento en periodos de poca actividad.** Indique a los clientes las horas en las que seguramente no tendrán que esperar y también los periodos pico; esto puede aligerar la carga.

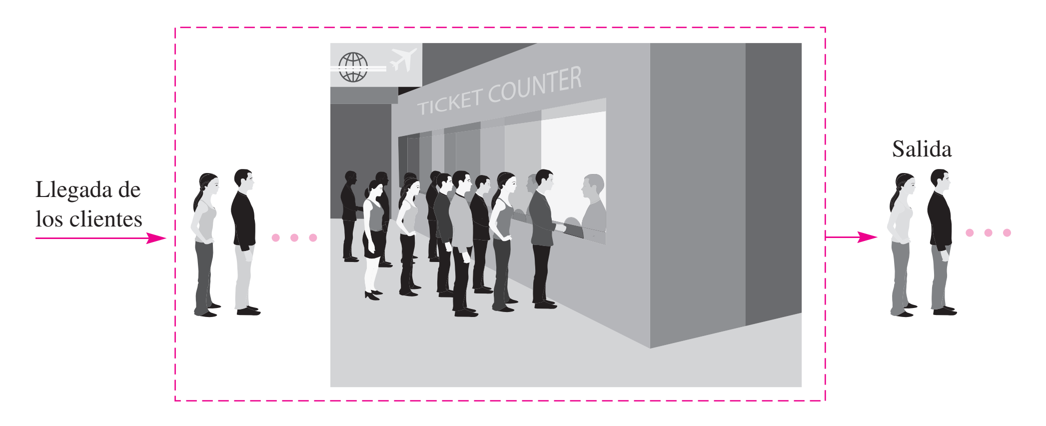
El sistema de filas

Sistema de filas

Servicio

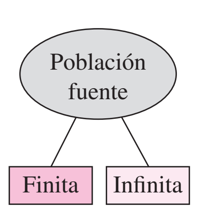
El **sistema de filas** cuenta, en esencia, con tres componentes básicos: 1) la población fuente y la forma en que los clientes llegan al sistema, 2) el sistema de prestación del servicio y 3) la condición de los clientes que salen del sistema (¿de regreso a la población fuente o no?), como muestra la ilustración 7A.2. Las secciones siguientes abordan cada uno de estos elementos.

ILUSTRACIÓN 7A.2 Componentes de un sistema de filas.



Llegada de los clientes

Las llegadas a un sistema de servicios pueden provenir de una población *finita* o de una *infinita*. La diferencia es importante porque los análisis se fundan en diferentes premisas y su solución requiere ecuaciones distintas.



Población finita Una *población finita* se refiere al conjunto limitado de clientes que usarán el servicio y, en ocasiones, formarán una línea. La razón de la importancia de esta clasificación es que cuando un cliente abandona su posición como miembro de la población (por ejemplo, una máquina que se descompone o requiere servicio), el tamaño del grupo de usuarios tiene una unidad menos y ello disminuye la probabilidad de que se presente el siguiente hecho. Al contrario, cuando un cliente recibe un servicio y regresa al grupo de usuarios, la población aumenta, así como la probabilidad de que el usuario requiera el servicio. Esta clase de problemas de una población finita requiere un conjunto de fórmulas distinto al de una infinita.

Por ejemplo, piense en una persona que da mantenimiento a un grupo de seis máquinas. Cuando se descompone una de ellas, la población fuente disminuye a cinco y la probabilidad de que una de las cinco restantes se descomponga y necesite reparación definitivamente es menor que cuando operan seis máquinas. Si dos están descompuestas y solo hay cuatro en operación, cambia de nuevo la probabilidad de otra descompostura. Al contrario, cuando la máquina se repara y vuelve a operar, la población de máquinas se incrementa, lo que eleva la probabilidad de la siguiente descompostura.

El pase rápido FastPass de Disney permite a visitantes hacer "reservaciones" para los juegos mecánicos, con el fin de evitar las largas filas de espera. Cada una de las atracciones con FastPass tiene dos pantallas: la primera indica el tiempo aproximado de espera de un visitante que va a entrar inmediatamente; la segunda, muestra el tiempo para volver a la atracción si se cuenta con una cita del FastPass. Si la espera es más larga de lo que la persona piensa que es razonable, entonces puede obtener un FastPass para tener una cita y regresar a la atracción.

Población infinita Una *población infinita* es lo bastante grande, en relación con el sistema del servicio, para que el tamaño que resulta de incrementos o decrementos en ella (un cliente que necesita un servicio o un cliente que recibió el servicio y regresa a la población) no afecte sustantivamente las probabilidades del sistema. En el caso de la explicación anterior de lo finito, si hubiera 100 máquinas en lugar de 6, entonces si una o dos máquinas se descompusieran, las probabilidades de las próximas descomposturas no serían muy diferentes y cabría suponer, sin gran posibilidad de errar, que la población (para efectos prácticos) es infinita. Las fórmulas de los problemas de filas "infinitas" no generarían grandes errores si se aplicaran a un médico con mil pacientes o a una tienda de departamentos con 10 mil clientes.

Distribución de las llegadas

Cuando se describe un sistema de espera es preciso definir el orden de los clientes o las unidades que esperan.

Tasa de llegadas

Las fórmulas de las líneas de espera suelen requerir una **tasa de llegadas**, o el número de unidades por periodo (por ejemplo, un promedio de uno cada seis minutos). Una distribución *constante* de llegadas es periódica, y el tiempo que transcurre entre las llegadas sucesivas es exactamente el mismo. En los sistemas de producción, las únicas llegadas que en efecto se acercan a un periodo de intervalos constantes son las sujetas al control de una máquina. Las distribuciones *variables* de llegadas (aleatorias) son mucho más comunes.

Cuando se observan las llegadas a un local de servicios, se adopta uno de dos puntos de vista: en primer término, se analiza el tiempo entre llegadas sucesivas para ver si sigue alguna distribución estadística. Por lo general se supone que el tiempo entre llegadas se distribuye de modo exponencial. En segundo, se establece una duración de tiempo (T) y se determina cuántas llegadas pueden entrar en el sistema en T. Por lo general, se supone que el número de llegadas por unidad de tiempo tiene una distribución de Poisson.

Distribución exponencial

Distribución exponencial En el primer caso, cuando las llegadas a un local de servicios se presentan en forma enteramente aleatoria, un plano de tiempos entre llegadas produce una **distribución exponencial**, como la de la ilustración 7A.3. La función de probabilidad es

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad \text{(7A.1)}$$

donde λ es la media de las llegadas por periodo.

El área acumulada debajo de la curva de la ilustración 7A.3 es el resumen de la ecuación (7A.1) dentro de su rango positivo, que es $e^{-\lambda t}$. Esta integral permite calcular las probabilidades de las llegadas en un tiempo especificado. Por ejemplo, en el caso de llegadas únicas a una línea de espera ($\lambda = 1$), se deriva la tabla siguiente al despejar $e^{-\lambda t}$ o utilizando el apéndice F. La columna 2 muestra la probabilidad de que pasen más de t minutos antes de que se presente la siguiente llegada. La columna 3 muestra la probabilidad de la siguiente llegada dentro de t minutos (calculada como 1 menos la columna 2).

(1) t (minutos)	(2) Probabilidad de que se presente la próxima llegada en t minutos o más (del apéndice F o al despejar e^{-t})	(3) Probabilidad de que se presente la próxima llegada en t minutos o menos [1-columna (2)]
0	1.00	0
0.5	0.61	0.39
1.0	0.37	0.63
1.5	0.22	0.78
2.0	0.14	0.86

Distribución de Poisson

Distribución de Poisson En el segundo caso, en el cual interesa el número de llegadas en un periodo T, la distribución se presenta como en la ilustración 7A.4, y se obtiene al encontrar la probabilidad exacta de n llegadas durante T. Si el proceso de llegadas es aleatorio, entonces la distribución es de **Poisson**, y la fórmula es

$$P_T(n) = \frac{(\lambda T)^n e^{-\lambda t}}{n!} \quad \text{(7A.2)}$$

La ecuación (7A.2) muestra la probabilidad de que haya exactamente n llegadas en el tiempo T.[1] Por ejemplo, si la media de las llegadas de unidades al sistema es de tres por minuto ($\lambda = 3$) y se quiere encontrar la probabilidad de que lleguen exactamente cinco unidades en un periodo de un minuto ($n = 5$, $T = 1$), se tiene

$$P_1(5) = \frac{(3 \times 1)^5 e^{-3\times 1}}{5!} = \frac{3^5 e^{-3}}{120} = 2.025e^{-3} = 0.101$$

Es decir, hay una probabilidad de 10.1% de que haya cinco llegadas en un intervalo de un minuto.

ILUSTRACIÓN 7A.3 Distribución exponencial.

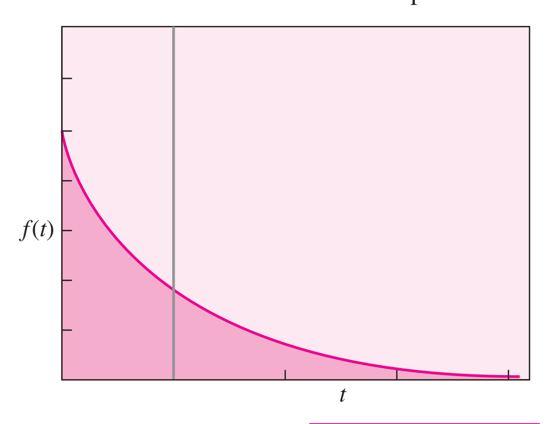
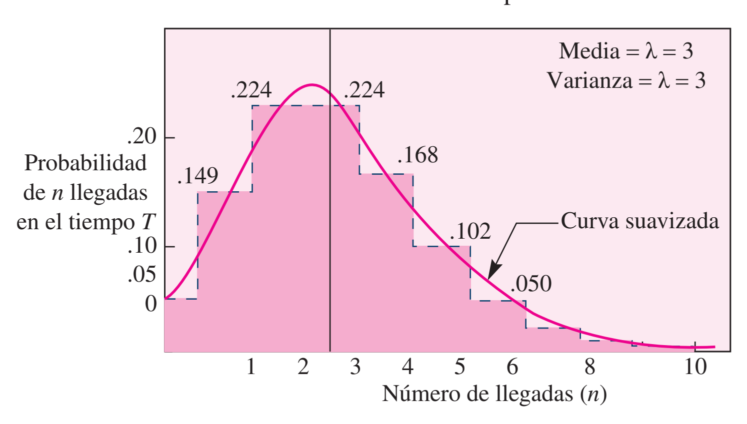


ILUSTRACIÓN 7A.4 Distribución de Poisson para $\lambda T = 3$.



[1] $n!$ se define como $n(n-1)(n-2)\cdots(2)(1)$.

La distribución de Poisson es discreta, a pesar de que con frecuencia se presenta como curva suave, como en la ilustración 7A.4 (la curva se suaviza a medida que crece n). La distribución es discreta porque, en el ejemplo, n se refiere al número de llegadas a un sistema y este debe ser un entero (por ejemplo, no puede haber 1.5 llegadas).

Asimismo, advierta que la distribución exponencial y la de Poisson se derivan una de la otra. La media y la varianza de Poisson son iguales y se denotan por λ. La media de la exponencial es $1/\lambda$, y su varianza es $1/\lambda^2$. (Recuerde que el tiempo entre llegadas está distribuido exponencialmente y que el número de llegadas por unidad de tiempo es una distribución de Poisson.)

Otras características de las llegadas son sus patrones, el tamaño de las unidades que llegan y el grado de paciencia. Vea la ilustración 7A.5.

Patrones de llegadas. Las llegadas a un sistema son mucho más controlables de lo que se suele reconocer. Los peluqueros pueden disminuir la tasa de llegadas los sábados (y presuntamente cambiarlas a otros días de la semana) si cobran un dólar más por los cortes de adulto o si cobran precios de adultos por los cortes de niños. Las tiendas de departamentos tienen rebajas durante la temporada floja o rebajas de un solo día en parte con fines de control. Las líneas aéreas ofrecen tarifas especiales a excursiones y fuera de temporada por razones similares. El instrumento más sencillo de todos para controlar las llegadas es anunciar el horario de actividades.

Las demandas de algunos servicios son a todas luces incontrolables, como las demandas de urgencias médicas en un hospital urbano. Sin embargo, incluso en esas situaciones, las llegadas a las salas de urgencias de hospitales específicos son controlables en cierta medida, por ejemplo, al mantener informados a los conductores de las ambulancias de la región del servicio acerca de la condición de los hospitales que las reciben.

Tamaño de las unidades de llegadas. Una *llegada única* se puede considerar una unidad (el número más pequeño que se maneja). Una llegada única al piso de la Bolsa de Valores de Nueva York (NYSE) es 100 acciones de una emisión, una llegada única en una planta de producción de huevos sería una docena de huevos o una caja de un kilo, una llegada única a un restaurante es una sola persona.

Una *llegada en grupo* es algún múltiplo de la unidad, como un bloque de 1 000 acciones en la NYSE, un cartón de huevos en la planta de procesamiento o un grupo de cinco comensales en un restaurante.

Grado de paciencia. Una llegada *paciente* es la de la persona que espera tanto tiempo como sea necesario hasta que el servicio está disponible. Aunque quienes lleguen refunfuñen y se muevan con impaciencia, el hecho de que esperan basta para calificarlos como llegadas pacientes para efectos de la teoría de la fila de espera.

ILUSTRACIÓN 7A.5 Llegadas de los clientes en forma de filas.

Existen dos clases de llegadas *impacientes*. Las personas que pertenecen a la primera clase, llegan, echan un ojo al local del servicio y la longitud de la fila y optan por partir. Las de la otra clase llegan, ven la situación, se forman en la fila y, después, pasado algún tiempo, deciden partir. Se dice que las personas del primer tipo son *quejumbrosas*, mientras que las del segundo son *gruñonas.*

SISTEMA DE FILAS: FACTORES

El sistema de filas consta sobre todo de líneas de espera y el número disponible de servidores. En seguida se presentan las cuestiones relativas a las características y la administración de las filas de espera, la estructura de las filas y el ritmo del servicio. Los factores por considerar en el caso de las filas de espera son su longitud, el número de filas y la disciplina de la fila.

Longitud. En un sentido práctico, una fila infinita no es más que una fila muy larga en términos de la capacidad del sistema del servicio. Algunos ejemplos de *longitud potencialmente infinita* son la fila de vehículos automotores de varios kilómetros para cruzar un puente y los amantes del teatro que forman una fila que da la vuelta a la manzana para comprar una entrada.

Las gasolineras, muelles de carga y estacionamientos tienen una *capacidad limitada de filas* en razón de restricciones legales o de las características físicas del espacio. Esto complica el problema de la fila de espera no solo por la utilización del sistema del servicio y el cálculo de las filas, sino también por la forma de la distribución real de las llegadas. La persona que llega y a quien se le niega la posibilidad de formarse en la fila por falta de espacio puede unirse de nuevo a la población en un intento posterior o buscar el servicio en otra parte. Ambas acciones provocan resultados a todas luces distintos en el caso de una población finita.

Número de líneas. Una sola línea o fila es, sin duda, una línea única. El término *filas múltiples* se refiere a las filas aisladas que se forman frente a dos o más servidores o a filas aisladas que convergen en un punto central para su redistribución. La desventaja de las filas múltiples en un local muy activo es que las personas que llegan con frecuencia cambian de fila si algunos de sus servicios antes fueron breves o si les parece que los clientes de otras filas requerirán un servicio que durará poco tiempo.

Longitud de la fila
- Longitud potencialmente infinita
- Capacidad limitada

Número de líneas
- Única
- Múltiples

Disciplina de la fila
- Primero entra, primero sale
- Menor tiempo de procesamiento
- Reservaciones primero
- Urgencias primero
- Necesidades limitadas
- Otros

Disciplina de la fila. La disciplina de la fila es la regla o conjunto de reglas que determina el orden en que se brinda el servicio a los clientes que esperan formados. Las reglas que se elijan tienen un enorme efecto en el desempeño global del sistema. El número de clientes en la fila, el tiempo promedio de espera, la banda de variación del tiempo de espera y la eficiencia del local del servicio son tan solo algunos factores que se verán afectados por las reglas de prioridad.

La regla de prioridad más común tal vez sea la de que quien primero entra, primero sale (PEPS). A los clientes formados se les atiende en el orden cronológico de su llegada y ninguna otra característica tiene repercusiones para el proceso de selección. En casi todo el mundo se acepta esta regla como la más justa, aunque en la práctica discrimina a la persona que llega después y requiere poco tiempo para su servicio.

Otras reglas de prioridad son las que dan preferencia a quienes tienen reservación, urgencias, clientes que producen más ganancias, pedidos más grandes, mejores clientes, quien lleva más tiempo esperando en la fila y la primera fecha prometida. La aplicación de una regla determinada plantea dos grandes problemas prácticos: Uno es garantizar que los clientes conozcan la regla y la respeten; la otra, garantizar un sistema que permita a los empleados controlar la fila (como los sistemas de turnos).

Distribución del tiempo del servicio Otra característica importante de la estructura de la espera es el tiempo que el cliente o la unidad pasa con el servidor una vez iniciado el servicio. Las fórmulas de las líneas de espera por lo general especifican el **ritmo del servicio** como la

Ritmo del servicio

capacidad del servidor para cubrir un número de unidades por periodo (como 12 servicios terminados por hora) y *no* como el tiempo del servicio, el cual puede durar un promedio de cinco minutos cada uno. Una regla del tiempo constante de un servicio indica que cada servicio tarda exactamente el mismo tiempo. Al igual que en las llegadas constantes, esta característica suele limitarse a las operaciones controladas por máquinas.

Cuando los tiempos del servicio son aleatorios, se calcula un aproximado con la distribución exponencial. Cuando se use la distribución exponencial como cálculo aproximado de los tiempos del servicio, μ es el número promedio de unidades o clientes atendidos por periodo.

Estructuras de las filas Como muestra la ilustración 7A.6, el flujo de elementos que reciben servicio puede avanzar por una sola fila, por múltiples filas o por una combinación de ambas. La elección del formato depende por una parte del volumen de clientes servidos y, por otra, de las restricciones que impongan los requerimientos de la secuencia que rigen el orden en el cual se debe desempeñar el servicio.

1. **Canal único, fase única.** Es la estructura más sencilla de la fila de espera, y para resolver el problema de los patrones de llegadas y servicios con una distribución estándar se aplican fórmulas simples. Cuando las distribuciones no son estándar, el problema se resuelve con facilidad mediante una simulación de computadora. Un ejemplo habitual de una situación de un canal único y una fase única es una peluquería de un solo empleado.
2. **Canal único, fases múltiples.** Un negocio de lavado de automóviles sirve de ilustración porque desempeña una serie de servicios (aspirar, mojar, lavar, enjuagar, secar, limpiar ventanas y estacionar) conforme a una secuencia muy uniforme. Un factor crítico de los canales únicos con servicio en serie es la cantidad de acumulación de elementos que se permite enfrente de cada servicio, lo cual a su vez constituye líneas separadas de espera.
3. **Canales múltiples, fase única.** Los cajeros en los bancos y las cajas de las tiendas de departamentos que manejan gran volumen son ejemplo de este tipo de estructura. El problema con este formato es que el tiempo asimétrico del servicio que se brinda a cada cliente genera una velocidad o flujo asimétricos de las filas. Esto hace que algunos clientes sean atendidos antes que otros que llegaron antes, así como cierto grado de cambios de una fila a otra. Modificar esta estructura para garantizar la atención a las personas por orden cronológico de su llegada requeriría formar una sola línea, en cuyo caso, a medida que un servidor queda libre pase el siguiente cliente de la fila.

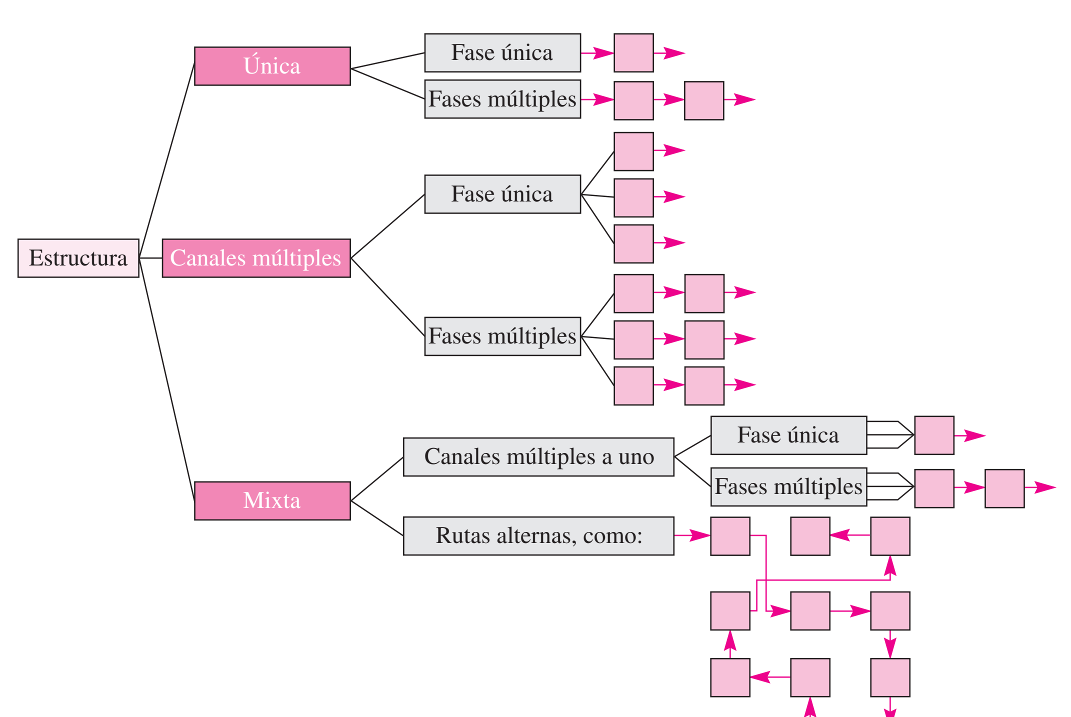


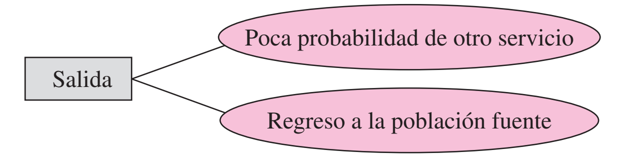
ILUSTRACIÓN 7A.6
Estructuras de líneas.

El gran problema de esta estructura es que requiere un control rígido de la línea para mantener el orden y dirigir a los clientes a los servidores disponibles. En algunos casos, este problema se aligera al asignar números a los clientes según el orden de su llegada.

4. **Múltiples canales, múltiples fases.** Este caso se parece al anterior, salvo que en este se desempeñan dos o más servicios en secuencia. La admisión de pacientes a un hospital sigue este patrón, porque por lo general hay una secuencia específica de pasos: contacto inicial en el mostrador de admisiones, llenar formas impresas, preparar etiquetas de identificación, recibir la asignación de una habitación, acompañar al paciente a la habitación, etc. Como suele haber varios servidores disponibles para este procedimiento, es posible procesar a más de un paciente a la vez.
5. **Mixto.** Esta clasificación general abarca dos subcategorías: 1) estructuras de múltiples canales a uno y 2) estructuras de rutas alternas. El caso 1) implica filas que se juntan en una para recibir un servicio de una fase, como un puente donde dos carriles se convierten en uno, o las filas que se funden en una para recibir un servicio de varias fases, como las líneas de subensambles que alimentan la línea principal. En el caso 2) se encuentran dos estructuras que difieren en cuanto a los requisitos de la dirección del flujo. La primera es similar al caso de múltiples canales y múltiples fases, salvo que *a*) puede haber cambios de un canal a otro una vez brindado el primer servicio y *b*) el número de canales y fases puede variar, de nueva cuenta, después de prestado el primer servicio.

SALIDA DEL SISTEMA DE FILAS

Cuando el cliente recibe el servicio, quedan dos caminos posibles: 1) el cliente puede regresar a la población fuente y de inmediato convertirse en un candidato que compite de nuevo por un servicio o 2) puede existir escasa probabilidad de otro servicio. El primer caso se ilustra con una máquina que se repara por rutina y vuelve a operar, pero puede descomponerse otra vez; el segundo sería una máquina a la que se le dio mantenimiento o se modificó y es poco probable que requiera otro servicio en un futuro cercano. En otras palabras, se puede decir que la primera es como "un catarro común recurrente", y el segundo, "una apendicitis, operación que ocurre una sola vez".



Sin duda está claro que cuando la población fuente es finita, todo cambio del servicio desempeñado para los clientes que regresan a la población modifica la tasa de llegadas al local del servicio. Desde luego, esto modifica las características de la línea de espera que se estudia, y por necesidad hay que analizar de nuevo el problema.

Modelos de filas de espera

En esta sección se presenta una muestra de cuatro problemas de filas de espera y sus correspondientes soluciones. Cada uno tiene una estructura (vea la ilustración 7A.7) y ecuación de la solución (vea la ilustración 7A.8) un poco diferentes. Hay más tipos de modelos que estos cua-

ILUSTRACIÓN 7A.7 Propiedades de algunos modelos específicos de filas de espera.

Modelo	Distribución	Fase del servicio	Población fuente	Patrón de llegadas	Disciplina de la fila	Patrón del servicio	Longitud permisible de la fila	Ejemplo habitual
1	Canal único	Única	Infinita	Poisson	PEPS	Exponencial	Ilimitada	Cajero para automóviles en un banco; puente de peaje con un solo carril
2	Canal único	Única	Infinita	Poisson	PEPS	Constante	Ilimitada	Viajes en la montaña rusa de un parque de diversiones
3	Múltiples canales	Única	Infinita	Poisson	PEPS	Exponencial	Ilimitada	Mostrador de refacciones en una agencia de automóviles
4	Canal único	Única	Finita	Poisson	PEPS	Exponencial	Ilimitada	Máquina que se descompone y se repara en una fábrica

ILUSTRACIÓN 7A.8 Notaciones de las ecuaciones.

Notación de la fila infinita: modelos 1-3	Notación de la fila finita: modelo 4
λ = Tasa de llegadas μ = Ritmo del servicio	D = Probabilidad de que una persona que llega deba esperar en la fila F = Factor de eficiencia, medida del efecto de tener que esperar en la fila
$\frac{1}{\mu}$ = Tiempo promedio del servicio	H = Número promedio de unidades que se atiende
$\frac{1}{\lambda}$ = Tiempo promedio entre llegadas	J = Población fuente menos las personas en el sistema de la fila $(N - n)$
ρ = Proporción del total de la tasa de llegadas con el ritmo del servicio en caso de un solo servidor $\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)$*	L = Número promedio de unidades en la fila
L_q = Número promedio que espera en la línea	S = Número de canales de servicio
L_s = Número promedio en el sistema (inclusive la persona que recibe el servicio)	n = Número promedio de unidades en el sistema de filas (inclusive la que recibe atención)
W_q = Tiempo promedio de espera en la línea	N = Número de unidades en la población fuente
W_s = Tiempo promedio total en el sistema (inclusive el tiempo para recibir atención)	P_n = Probabilidad de que haya exactamente n unidades en el sistema de filas
n = Número de unidades en el sistema	T = Tiempo promedio para brindar el servicio
S = Número de canales idénticos de servicio	U = Tiempo promedio entre requerimientos de los servicios de los clientes
P_n = Probabilidad de que haya exactamente n unidades en el sistema	W = Tiempo promedio de la espera en la fila
P_w = Probabilidad de esperar en fila	X = Factor de servicio, o proporción del tiempo requerido para el servicio

* En el caso de filas con un solo servidor, esto equivale a utilización.

Ecuaciones para resolver cuatro problemas modelo

Modelo 1 **(7A.3)**

$$\begin{cases} L_q = \dfrac{\lambda^2}{\mu(\mu-\lambda)} & W_q = \dfrac{L_q}{\lambda} & P_n = \left(1-\dfrac{\lambda}{\mu}\right)\left(\dfrac{\lambda}{\mu}\right)^n & P_0 = \left(1-\dfrac{\lambda}{\mu}\right) \\ L_s = \dfrac{\lambda}{\mu-\lambda} & W_s = \dfrac{L_s}{\lambda} & \rho = \dfrac{\lambda}{\mu} \end{cases}$$

Modelo 2 **(7A.4)**

$$\begin{cases} L_q = \dfrac{\lambda^2}{2\mu(\mu-\lambda)} & W_q = \dfrac{L_q}{\lambda} \\ L_s = L_q + \dfrac{\lambda}{\mu} & W_s = \dfrac{L_s}{\lambda} \end{cases}$$

La ilustración 7A.9 proporciona el valor de L_q dado λ/μ y el número de servidores S.

Modelo 3 **(7A.5)**

$$\begin{cases} L_s = L_q + \lambda/\mu & W_s = L_s/\lambda \\ W_q = L_q/\lambda & P_w = L_q\left(\dfrac{S\mu}{\lambda} - 1\right) \end{cases}$$

El modelo 4 es una situación con una fila finita que se resuelve con más facilidad mediante tablas finitas. A su vez, estas tablas requieren la manipulación de términos específicos.

Modelo 4 **(7A.6)**

$$\begin{cases} X = \dfrac{T}{T+U} & H = FNX & L = N(1-F) & n = L + H \\ P_n = \dfrac{N!}{(N-n)!} X^n P_o & & J = NF(1-X) \\ W = \dfrac{L(T+U)}{N-L} = \dfrac{LT}{H} & & F = \dfrac{T+U}{T+U+W} \end{cases}$$

tro, pero las fórmulas y las soluciones resultan muy complicadas y, por lo general, se resuelven con simulaciones de computadora. Además, al aplicar estas fórmulas, recuerde que su estado es constante y provienen del supuesto de que el proceso en estudio es continuo. Así, quizá generen resultados inexactos al aplicarse a procesos en los cuales las tasas de llegadas y/o de servicios

cambian con el tiempo. Para resolver estos problemas se usa la hoja de cálculo de Excel Queue_Model.xls, que elaboró John McClain, de Cornell University.

A continuación se presenta un anticipo rápido de los cuatro problemas para ilustrar cada modelo de las filas de espera de las ilustraciones 7A.7 y 7A.8.

Problema 1: Clientes en una fila. Un banco quiere saber cuántos clientes esperan en el cajero de pago desde el automóvil, cuánto tiempo deben esperar, la utilización del cajero y cuál tendría que ser el ritmo del servicio para que 95% del tiempo no haya más de tres automóviles en el sistema en un momento dado.

Problema 2: Selección de equipamiento. Una franquicia de Robot Car Wash debe comprar equipo y hay tres opciones. Las unidades más grandes cuestan más, pero lavan los automóviles más rápido. Para decidir, se relacionan costos con ingresos.

Problema 3: Determinar el número de servidores. El departamento de refacciones de una agencia de automóviles debe decidir a cuántos dependientes de mostrador contratará. Más dependientes cuestan más, pero hay un ahorro porque los mecánicos esperan menos tiempo.

Problema 4: Población fuente finita. Los modelos anteriores suponen una población muy grande, pero las filas finitas emplean otro conjunto de ecuaciones cuando es pequeña la población de clientes que llaman. En este último problema, varios mecánicos deben dar servicio a cuatro telares para que sigan operando. El problema consiste en decidir, a partir de los costos asociados a tener las máquinas paradas y los costos de los mecánicos para darles servicio, cuántos mecánicos se deben emplear.

Servicio

Paso por paso

EJEMPLO 7A.1: Clientes en fila

Western National Bank considera abrir un servicio para que los clientes hagan sus operaciones desde su automóvil. La gerencia estima que el ritmo de llegada de los clientes será de 15 por hora; el cajero que trabajará en la ventanilla puede atenderlos con un ritmo de uno cada tres minutos.

Parte 1 Si se suponen llegadas de Poisson y servicio exponencial, encuentre

1. La utilización del cajero.
2. El número promedio de automóviles en la fila de espera.
3. El número promedio en el sistema.
4. El tiempo promedio de espera en la fila.
5. El tiempo promedio de espera en el sistema, incluso el servicio.

Excel: Filas

Solución. Parte 1

1. La utilización promedio del cajero es (con el modelo 1)

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{15}{20} = 75\%$$

2. El número promedio en la fila de espera es

$$L_q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} = \frac{(15)^2}{20(20 - 15)} = 2.25 \text{ clientes}$$

3. El número promedio en el sistema es

$$L_s = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} = \frac{15}{20 - 15} = 3 \text{ clientes}$$

4. El tiempo promedio de la espera en fila es

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} = \frac{2.25}{15} = 0.15 \text{ de hora, o 9 minutos}$$

5. El tiempo promedio de espera en el sistema es

$$W_s = \frac{L_s}{\lambda} = \frac{3}{15} = 0.2 \text{ horas, o 12 minutos}$$

Parte 2 Como el espacio disponible es limitado y se desea brindar un servicio aceptable, el gerente del banco quiere tener la seguridad, con 95% de confianza, de que no habrá más de tres automóviles en el sistema en un momento dado. ¿Cuál es el nivel presente de servicio con el límite de tres automóviles? ¿Qué nivel de utilización de cajero se debe lograr y cuál debe ser el ritmo del servicio del cajero para asegurar 95% en el nivel del servicio?

Solución. Parte 2

El nivel presente del servicio para tres automóviles o menos es la probabilidad de que haya 0, 1, 2 o 3 automóviles en el sistema. Con el modelo 1, ilustración 7A.8,

$$P_n = \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right)\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n$$

a $n = 0$, $P_0 = (1 - 15/20)$ $(15/20)^0 = 0.250$

a $n = 1$, $P_1 = (1/4)$ $(15/20)^1 = 0.188$

a $n = 2$, $P_2 = (1/4)$ $(15/20)^2 = 0.141$

a $n = 3$, $P_3 = (1/4)$ $(15/20)^3 = \underline{0.105}$

0.684 o 68.5%

La probabilidad de tener más de tres automóviles en el sistema es de 1.0 menos la probabilidad de tres o menos automóviles (1.0 – 0.685 = 31.5%).

Para un nivel de servicio de 95% de tres o menos automóviles, esto determina que $P_0 + P_1 + P_2 + P_3 = 95$ por ciento.

$$0.95 = \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right)\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^0 + \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right)\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^1 + \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right)\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^2 + \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right)\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^3$$

$$0.95 = \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right)\left[1 + \frac{\lambda}{\mu} + \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^2 + \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^3\right]$$

Esto se resuelve mediante prueba y error con los valores de λ/μ. Si $\lambda/\mu = 0.50$,

$$0.95 \stackrel{?}{=} 0.5(1 + 0.5 + 0.25 + 0.125)$$
$$0.95 \neq 0.9375$$

Con $\lambda/\mu = 0.45$,

$$0.95 \stackrel{?}{=} (1 - 0.45)(1 + 0.45 + 0.203 + 0.091)$$
$$0.95 \neq 0.96$$

Con $\lambda/\mu = 0.47$,

$$0.95 \stackrel{?}{=} (1 - 0.47)(1 + 0.47 + 0.221 + 0.104) = 0.95135$$
$$0.95 \approx 0.95135$$

Por tanto, con una utilización de $\rho = \lambda/\mu$ de 47%, la probabilidad de que haya tres o menos automóviles en el sistema es de 95%.

Para encontrar el ritmo de servicio requerido para alcanzar este nivel de servicio de 95%, tan solo se resuelve la ecuación $\lambda/\mu = 0.47$, donde λ = número de llegadas por hora. Esto da $\mu = 32$ por hora. Es decir, el cajero debe atender aproximadamente a unas 32 personas por hora (un incremento de 60% sobre la capacidad original de 20 por hora) para 95% de confianza de que no habrá más de tres automóviles en el sistema. El servicio tal vez se pueda acelerar si se modifica el método del servicio, con un cajero más o al limitar los tipos de transacciones que ofrece la ventanilla para automóviles. Observe que con la condición de 95% de confianza de que haya tres o menos automóviles en el sistema, el cajero estará inactivo 53% del tiempo. ●

EJEMPLO 7A.2: Selección de equipo

Las franquicias de Robot Company son una combinación de gasolinera y servicio de lavado de automóviles a lo largo y ancho de Estados Unidos. Robot lava un auto gratis cuando llena su tanque de gasolina, y sólo el lavado cuesta 0.50 dólares. La experiencia indica que el número de clientes que solicitan un lavado de automóvil después de llenar el tanque es más o menos igual al de los que solo lo lavan. La utilidad promedio de un tanque lleno de gasolina es alrededor de 0.70 dólares, y el costo de un lavado de auto para Robot es de 0.10 dólares. Robot está abierto 14 horas al día.

Servicio

Paso por paso

Robot tiene tres unidades eléctricas y piezas de movimiento, y el franquiciatario debe elegir la unidad que prefiere. La unidad I lava un auto cada cinco minutos y su renta cuesta 12 dólares al día. La unidad II, una unidad más grande, lava un auto cada cuatro minutos, pero cuesta 16 dólares por día. La unidad III, la más grande, cuesta 22 dólares por día, y lava un auto en tres minutos.

El franquiciatario estima que los clientes no esperarán más de cinco minutos en una fila para lavar su auto. Una espera más larga provocará que Robot pierda ventas de gasolina y también de lavado de automóviles.

Si el cálculo de las llegadas de clientes que terminan en lavados es de 10 por hora, ¿qué unidad de lavado debe escoger?

Solución

Excel: Filas

Con la unidad I, calcule el tiempo promedio de espera de los clientes en la fila de lavados (μ para unidad I = 12 por hora). Con las ecuaciones del modelo 2 (ilustración 7A.8),

$$L_q = \frac{\lambda^2}{2\mu(\mu - \lambda)} = \frac{10^2}{2(12)(12 - 10)} = 2.08333$$

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} = \frac{2.08333}{10} = 0.208 \text{ horas, o } 12\tfrac{1}{2} \text{ minutos}$$

Con la unidad II, a 15 por hora,

$$L_q = \frac{10^2}{2(15)(15 - 10)} = 0.667$$

$$W_q = \frac{0.667}{10} = 0.0667 \text{ horas, o 4 minutos}$$

Si el tiempo de espera es el único criterio, debe comprar la unidad II. Sin embargo, antes de tomar la decisión final es preciso analizar la diferencia de utilidad entre las dos unidades.

Con la unidad I, algunos clientes se quejarían y renunciarían por la espera de $12\frac{1}{2}$ minutos. Además, si bien esto complica mucho el análisis matemático, se obtiene un cálculo de las ventas perdidas con la unidad I si se incrementa W_q = 5 minutos o $\frac{1}{12}$ hora (el tiempo promedio que los clientes esperarán) y se despeja λ. Esto sería el ritmo efectivo de llegadas de los clientes:

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} = \left(\frac{\lambda^2/2\mu(\mu - \lambda)}{\lambda}\right)$$

$$W_q = \frac{\lambda}{2\mu(\mu - \lambda)}$$

$$\lambda = \frac{2W_q\mu^2}{1 + 2W_q\mu} = \frac{2\left(\frac{1}{12}\right)(12)^2}{1 + 2\left(\frac{1}{12}\right)(12)} = 8 \text{ por hora}$$

Por tanto, como el cálculo original de λ era 10 por hora, se perderán unos 2 clientes por hora. La utilidad perdida de 2 clientes por hora × 14 horas × $\frac{1}{2}$(0.70 dólares por utilidad de tanque lleno + 0.40 dólares por utilidad de lavado) = 15.40 dólares por día.

Como el costo adicional de la unidad II en comparación con la unidad I es tan solo de 4 dólares diarios, la pérdida de 15.40 dólares de utilidad evidentemente amerita la instalación de la unidad II.

La unidad II cumple la limitante original de la espera máxima de cinco minutos. Por tanto, la unidad III no se considera, a no ser que se espere que aumente la tasa de llegadas. ●

Paso por paso

Servicio

EJEMPLO 7A.3: Determinar el número de servidores

En el departamento de servicios de Glenn-Mark Auto Agency, los mecánicos que requieren refacciones para reparar o dar servicio a los automóviles presentan sus solicitudes en el mostrador del departamento de refacciones. El dependiente llena una solicitud mientras el mecánico espera. Los mecánicos llegan de manera aleatoria (Poisson) con un ritmo de 40 por hora, y un dependiente llena las solicitudes con un ritmo de 20 por hora (exponencial). Si el costo de un dependiente de refacciones es 6 dólares por hora y el costo de un mecánico es 12 dólares por hora, determine el número óptimo de dependientes que debe haber en el mostrador. (Por la elevada tasa de llegadas, cabe suponer una fuente infinita.)

Solución

Excel: Filas

Primero suponga que se empleará a tres dependientes, porque tener solo uno o dos crearía líneas infinitamente largas (pues $\lambda = 40$ y $\mu = 20$). En este caso se usarán las ecuaciones del modelo 3 de la ilustración 7A.8. Sin embargo, primero se debe obtener el número promedio de personas en la fila mediante la tabla de la ilustración 7A.9. Con la tabla y los valores $\lambda/\mu = 2$ y $S = 3$, se obtiene $L_q = 0.8888$ mecánicos.

A estas alturas se ve que hay un promedio de 0.8888 mecánicos en espera todo el día. Con una jornada de ocho horas a 12 dólares cada una, hay una pérdida de tiempo del mecánico que vale 0.8888 mecánicos × 12 dólares por hora × 8 horas = 85.32 dólares.

El siguiente paso es obtener de nuevo el tiempo de espera si se suma a otro dependiente en refacciones. Luego se compara el costo adicional del empleado añadido con el tiempo que se ahorran los mecánicos. De nueva cuenta, con la tabla de la ilustración 7A.9 pero con $S = 4$ se obtiene

$L_q = 0.1730$ mecánicos formados
0.1730 × \$12 × 8 horas = \$16.61 costo de un mecánico formado

El valor del tiempo que se ahorran los mecánicos es \$85.32 − \$16.61	= \$68.71
El costo de un dependiente adicional es 8 horas × \$6/hora	= 48.00
El costo de reducción por añadir un cuarto empleado	= \$20.71

Este problema se podría expandir para considerar la adición de empleados que corrieran a entregar las refacciones a los mecánicos; en tal caso, el problema sería determinar el número óptimo de corredores. Sin embargo, esto tendría que incluir el costo adicional del tiempo perdido debido a errores en las refacciones que se reciben. Por ejemplo, un mecánico reconocería una pieza equivocada en el mostrador y obtendría la correcta de inmediato, mientras que el corredor que lleva las refacciones tal vez no lo haría. ●

EJEMPLO 7A.4: Población fuente finita

Servicio

Paso por paso

Algunos estudios de cuatro telares de la textilera Loose Knit revelan que en promedio un telar se debe ajustar cada hora y que el técnico actual tarda $7\frac{1}{2}$ minutos por ajuste. Si se suponen llegadas de Poisson, servicio exponencial y costo de la máquina parada de \$40 por hora, determine si se debe contratar a un segundo técnico (que también tarda un promedio de $7\frac{1}{2}$ minutos por ajuste) con un costo de siete dólares por hora.

Solución

Excel: Filas

Se trata de un problema de fila finita que se resuelve con las tablas de las filas (véase la ilustración 7A.10). El enfoque de este problema es comparar el costo del tiempo con la máquina parada (que esperando en fila o recibe servicio) y de un técnico en reparaciones con el costo del tiempo de la máquina parada y dos técnicos en reparaciones. Esto se logra al encontrar el número promedio de máquinas en el sistema del servicio y multiplicar ese número por el costo del tiempo de la máquina parada por hora. Después se suma el costo de los técnicos en reparaciones.

Antes de proseguir, primero hay que definir algunos términos:

N = Número de máquinas en la población
S = Número de técnicos en reparaciones
T = Tiempo para dar servicio a la máquina
U = Tiempo promedio que trabaja una máquina antes de requerir servicio
X = Factor del servicio, o proporción del tiempo de servicio requerido para cada máquina ($X = T/(T + U)$)
L = Número promedio de máquinas en espera de recibir servicio
H = Número promedio de máquinas recibiendo servicio

Los valores por determinar con las tablas finitas son

D = Probabilidad de que una máquina que necesita servicio tenga que esperar
F = Factor de eficiencia, que mide el efecto de tener que esperar en fila para recibir el servicio

Las tablas están ordenadas al tenor de tres variables: N, tamaño de la población; X, factor servicio, y S, número de canales de servicio (reparadores, en este problema técnico). Para determinar un valor, primero encuentre la tabla del tamaño correcto de N, después, la primera columna de la X adecuada y, por último, la fila de S. Después lea D y F. (Además de estos valores, se pueden utilizar las fórmulas finitas para encontrar otras características del sistema de filas finitas.)

ILUSTRACIÓN 7A.9 Número esperado de personas que esperan formadas (L_q) con diferentes valores de S y λ/μ.

	Número de canales de servicio, S														
λ/μ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0.10	0.0111														
0.15	0.0264	0.0006													
0.20	0.0500	0.0020													
0.25	0.0833	0.0039													
0.30	0.1285	0.0069													
0.35	0.1884	0.0110													
0.40	0.2666	0.0166													
0.45	0.3681	0.0239	0.0019												
0.50	0.5000	0.0333	0.0030												
0.55	0.6722	0.045	0.0043												
0.60	0.9090	0.0593	0.0061												
0.65	1.2071	0.0767	0.0084												
0.70	1.6333	0.0976	0.0112												
0.75	2.2500	0.1227	0.0147												
0.80	3.2000	0.1523	0.0189												
0.85	4.8165	0.1873	0.0239	0.0031											
0.90	8.1000	0.2285	0.0300	0.0041											
0.95	18.0500	0.2767	0.0371	0.0053											
1.0		0.3333	0.0454	0.0067											
1.2		0.6748	0.0940	0.0158											
1.4		1.3449	0.1778	0.0324	0.0059										
1.6		2.8441	0.3128	0.0604	0.0121										
1.8		7.6731	0.5320	0.1051	0.0227	0.0047									
2.0			0.8888	0.1730	0.0390	0.0090									
2.2			1.4907	0.2770	0.066	0.0158									
2.4			2.1261	0.4205	0.1047	0.0266	0.0065								
2.6			4.9322	0.6581	0.1609	0.0425	0.0110								
2.8			12.2724	1.0000	0.2411	0.0659	0.0180								
3.0				1.5282	0.3541	0.0991	0.0282	0.0077							
3.2				2.3855	0.5128	0.1452	0.0427	0.0122							
3.4				3.9060	0.7365	0.2085	0.0631	0.0189							
3.6				7.0893	1.0550	0.2947	0.0912	0.0283	0.0084						
3.8				16.9366	1.5181	0.4114	0.1292	0.0412	0.0127						
4.0					2.2164	0.5694	0.1801	0.0590	0.0189						
4.2					3.3269	0.7837	0.2475	0.0827	0.0273	0.0087					
4.4					5.2675	1.0777	0.3364	0.1142	0.0389	0.0128					
4.6					9.2885	1.4857	0.4532	0.1555	0.0541	0.0184					
4.8					21.6384	2.0708	0.6071	0.2092	0.0742	0.0260					
5.0						2.9375	0.8102	0.2785	0.1006	0.0361	0.0125				
5.2						4.3004	1.0804	0.3680	0.1345	0.0492	0.0175				
5.4						6.6609	1.4441	0.5871	0.1779	0.0663	0.0243	0.0085			
5.6						11.5178	1.9436	0.6313	0.2330	0.0683	0.0330	0.0119			
5.8						26.3726	2.6481	0.8225	0.3032	0.1164	0.0443	0.0164			
6.0							3.6878	1.0707	0.3918	0.1518	0.0590	0.0224			
6.2							5.2979	1.3967	0.5037	0.1964	0.0775	0.0300	0.0113		
6.4							8.0768	1.8040	0.6454	0.2524	0.1008	0.0398	0.0153		
6.6							13.7992	2.4198	0.8247	0.3222	0.1302	0.0523	0.0205		
6.8							31.1270	3.2441	1.0533	0.4090	0.1666	0.0679	0.0271	0.0105	
7.0								4.4471	1.3471	0.5172	0.2119	0.0876	0.0357	0.0141	
7.2								6.3133	1.7288	0.6521	0.2677	0.1119	0.0463	0.0187	
7.4								9.5102	2.2324	0.8202	0.3364	0.1420	0.0595	0.0245	0.0097
7.6								16.0379	2.9113	1.0310	0.4211	0.1789	0.0761	0.0318	0.0129
7.8								35.8956	3.8558	1.2972	0.5250	0.2243	0.0966	0.0410	0.0168
8.0									5.2264	1.6364	0.6530	0.2796	0.1214	0.0522	0.0220
8.2									7.3441	2.0736	0.8109	0.3469	0.1520	0.0663	0.0283
8.4									10.9592	2.6470	1.0060	0.4288	0.1891	0.0834	0.0361
8.6									18.3223	3.4160	1.2484	0.5236	0.2341	0.1043	0.0459
8.8									40.6824	4.4805	1.5524	0.6501	0.2885	0.1208	0.0577
9.0										6.0183	1.9366	0.7980	0.3543	0.1603	0.0723
9.2										8.3869	2.4293	0.9788	0.4333	0.1974	0.0899
9.4										12.4183	3.0732	1.2010	0.5267	0.2419	0.1111
9.6										20.6160	3.9318	1.4752	0.5437	0.2952	0.1367
9.8										45.4769	5.1156	1.8165	0.7827	0.3699	0.16731
10											6.8210	2.2465	0.9506	0.4352	0.2040

ILUSTRACIÓN 7A.10 Tablas de filas finitas.

Población 4											
X	*S*	*D*	*F*	*X*	*S*	*D*	*F*	*X*	*S*	*D*	*F*
.015	1	.045	.999		1	.479	.899	.400	3	.064	.992
.022	1	.066	.998	.180	2	.088	.991		2	.372	.915
.030	1	.090	.997		1	.503	.887		1	.866	.595
.034	1	.102	.996	.190	2	.098	.990	.420	3	.074	.990
.038	1	.114	.995		1	.526	.874		2	.403	.903
.042	1	.126	.994	.200	3	.008	.999		1	.884	.572
.046	1	.137	.993		2	.108	.988	.440	3	.085	.986
.048	1	.143	.992	.200	1	.549	.862		2	.435	.891
.052	1	.155	.991	.210	3	.009	.999		1	.900	.551
.054	1	.161	.990		2	.118	.986	.460	3	.097	.985
.058	1	.173	.989		1	.572	.849		2	.466	.878
.060	1	.179	.988	.220	3	.011	.999		1	.914	.530
.062	1	.184	.987		2	.129	.984	.480	3	.111	.983
.064	1	.190	.986		1	.593	.835		2	.498	.864
.066	1	.196	.985	.230	3	.012	.999	.480	1	.926	.511
.070	2	.014	.999		2	.140	.982	.500	3	.125	.980
	1	.208	.984		1	.614	.822		2	.529	.850
.075	2	.016	.999	.240	3	.014	.999		1	.937	.492
	1	.222	.981		2	.151	.980	.520	3	.141	.976
.080	2	.018	.999		1	.634	.808		2	.561	.835
	1	.237	.978	.250	3	.016	.999		1	.947	.475
.085	2	.021	.999		2	.163	.977	.540	3	.157	.972
	1	.251	.975		1	.654	.794		2	.592	.820
.090	2	.023	.999	.260	3	.018	.998		1	.956	.459
	1	.265	.972		2	.175	.975	.560	3	.176	.968
.095	2	.026	.999		1	.673	.780		2	.623	.805
	1	.280	.969	.270	3	.020	.998		1	.963	.443
.100	2	.028	.999		2	.187	.972	.580	3	.195	.964
	1	.294	.965		1	.691	.766		2	.653	.789
.105	2	.031	.998	.280	3	.022	.99s8		1	.969	.429
	1	.308	.962		2	.200	.968	.600	3	.216	.959
.110	2	.034	.998		1	.708	.752		2	.682	.774
	1	.321	.958	.290	3	.024	.998		1	.975	.415
.115	2	.037	.998		2	.213	.965	.650	3	.275	.944
	1	.335	.954		1	.725	.738		2	.752	.734
.120	2	.041	.997	.300	3	.027	.997		1	.985	.384
	1	.349	.950		2	.226	.962	.700	3	.343	.926
.125	2	.044	.997		1	.741	.724		2	.816	.695
	1	.362	.945	.310	3	.030	.997		1	.991	.357
.130	2	.047	.997		2	.240	.958	.750	3	.422	.905
	1	.376	.941		1	.756	.710		2	.871	.657
.135	2	.051	.996	.320	3	.033	.997		1	.996	.333
	1	.389	.936		2	.254	.954	.800	3	.512	.880
.140	2	.055	.996		1	.771	.696		2	.917	.621
	1	.402	.931	.330	3	.036	.996		1	.998	.312
.145	2	.058	.995		2	.268	.950	.850	3	.614	.852
	1	.415	.926		1	.785	.683		2	.954	.587
.150	2	.062	.995	.340	3	.039	.996		1	.999	.294
	1	.428	.921		2	.282	.945	.900	3	.729	.821
.155	2	.066	.994		1	.798	.670		2	.979	.555
	1	.441	.916	.360	3	.047	.994	.950	3	.857	.786
.160	2	.071	.994		2	.312	.936		2	.995	.526
	1	.454	.910		1	.823	.644				
.165	2	.075	.993	.380	3	.055	.993				
	1	.466	.904		2	.342	.926				
.170	2	.079	.993		1	.846	.619				

Para resolver el problema, considere el caso I con un técnico en reparaciones y el caso II con dos técnicos.

Caso I: Un técnico en reparaciones. Del enunciado del problema,

$N = 4$
$S = 1$
$T = 7\frac{1}{2}$ minutos
$U = 60$ minutos

$$X = \frac{T}{T + U} = \frac{7.5}{7.5 + 60} = 0.111$$

De la ilustración 7A.10, que presenta la tabla de $N = 4$, se interpola que F es más o menos 0.975 en $X = 0.111$ y $S = 1$.

El número de máquinas que esperan en fila para recibir servicio es L, donde

$$L = N(1 - F) = 4(1 - 0.957) = 0.172 \text{ máquinas}$$

El número de máquinas que reciben servicio es H, donde

$$H = FNX = 0.957(4)(0.111) = 0.425 \text{ máquinas}$$

La ilustración 7A.11 muestra el costo que se deriva del tiempo de la máquina parada y el costo del técnico en reparaciones.

Caso II: Dos técnicos en reparaciones. De la ilustración 7A.10, en $X = 0.111$ y $S = 2$, $F = 0.998$.

El número de máquinas que esperan en línea, L, es

$$L = N(1 - F) = 4(1 - 0.998) = 0.008 \text{ máquinas}$$

El número de máquinas en servicio, H, es:

$$H = FNX = 0.998(4)(0.111) = 0.443 \text{ máquinas}$$

La ilustración 7A.11 presenta el costo que significa que las máquinas estén paradas y el de los dos técnicos. La última columna de la ilustración muestra que la mejor opción es tener tan solo un técnico. ●

ILUSTRACIÓN 7A.11 Comparación de costos de servicio y reparación de cuatro máquinas paradas.

Número de técnicos	Número de máquinas paradas ($H + L$)	Costo por hora de máquinas paradas [($H + L$) + \$40/hora]	Costo de técnicos (\$7/hora cada uno)	Costo total por hora
1	0.597	\$23.88	\$7.00	\$30.88
2	0.451	18.04	14.00	32.04

Cálculo aproximado del tiempo de espera del cliente[2]

Buenas noticias para los administradores: para calcular el tiempo promedio de espera, lo único que deben conocer es la media y la desviación estándar. Una serie de buenas investigaciones permitió llegar a un cálculo matemático "rápido y general" de los modelos de filas que se ilustraron antes en este capítulo. Lo bueno de los cálculos aproximados es que no suponen una tasa particular de llegadas ni una distribución del servicio. Todo lo que se requiere es la media y la desviación estándar del tiempo entre llegadas y del tiempo del servicio. No le abrumarán los abundantes detalles de la obtención de los cálculos aproximados, sino solo se le explicará cómo usar las fórmulas.

De entrada, tendrá que reunir algunos datos relativos al tiempo de su servicio, es decir, el tiempo que tarda atender a cada cliente. Recuerde que los datos que quiere reunir se refieren al periodo que represente relativamente bien lo que espera que ocurra durante el periodo que le interesa. Por ejemplo, si quiere saber cuántos cajeros debe haber en el banco para atender a los clientes los viernes, más o menos, a la hora de comer, reúna sus datos durante ese periodo. Esto le garantiza que las operaciones que se realicen son similares a las que espera que ocurran en el

[2] Agradecemos a Gilvan Souza, de la Robert H. Smith School of Business, Universidad de Maryland, por su ayuda en esta sección.

futuro. Con un cronómetro puede medir el tiempo que tarda la atención a cada cliente. Con estos datos, calcule la media y la desviación estándar del tiempo de servicio.

Recuerde, de su conocimiento de estadística, que la media es

$$\overline{X} = \sum_{i=1}^{N} x_i / N \qquad \textbf{(7A.7)}$$

donde x_i = valor observado y N = número total de valores observados.

La desviación estándar es

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} (x_i - \overline{X})^2}{N - 1}} \qquad \textbf{(7A.8)}$$

Después capture los datos relativos al tiempo entre las llegadas de cada nuevo cliente durante el periodo en estudio, es decir, el tiempo entre llegadas. Con esos datos, calcule la media y la desviación estándar del tiempo entre llegadas. De estos cálculos se tiene

$\overline{X}_s$ = Media del tiempo del servicio
$\overline{X}_a$ = Media del tiempo entre llegadas
S_S = Desviación estándar de la muestra del tiempo de servicio
S_a = Desviación estándar de la muestra del tiempo entre llegadas

Luego, defina:

$$C_s = \text{Coeficiente de la variación del tiempo del servicio} = \frac{S_s}{\overline{X}_s}$$

$$C_a = \text{Coeficiente de la variación del tiempo entre llegadas} = \frac{S_a}{\overline{X}_a} \qquad \textbf{(7A.9)}$$

$$\lambda = \text{Tasa de llegadas de los clientes} = \frac{1}{\overline{X}_a}$$

$$\mu = \text{Ritmo del servicio a los clientes} = \frac{1}{\overline{X}_s}$$

Ahora se calculan algunas estadísticas del sistema. Primero, defina S como el número de servidores que pretende emplear. Después,

$$\rho = \text{Utilización de servidores} = \frac{\lambda}{S\mu}$$

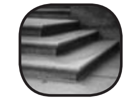
$$L_q = \text{Longitud esperada de la fila} = \frac{\rho^{\sqrt{2(S+1)}}}{1 - \rho} \times \frac{C_a^2 + C_s^2}{2} \qquad \textbf{(7A.10)}$$

$$L_s = \text{Número esperado de personas en el sistema} = L_q + S\rho$$

$$W_q = \text{Tiempo que se espera de la fila} = \frac{L_q}{\lambda}$$

$$W_s = \text{Tiempo esperado en el sistema} = \frac{L_s}{\lambda}$$

La utilización (ρ) es el porcentaje de tiempo durante el cual se espera que los servidores estén ocupados. Las compañías que brindan un servicio elevado muchas veces fijan esta meta entre 70 y 80%, según la variación entre la tasa de llegadas de los clientes y la del servicio. L_q representa la longitud que se espera de la fila y W_q es el tiempo que se espera que un cliente tenga que aguardar en la fila. L_s y W_s son el número esperado de clientes en el sistema y el tiempo que se espera que un cliente esté en el sistema. Estas estadísticas consideran el número total de clientes, y el tiempo total de la espera debe incluir a quienes reciben el servicio en ese momento.


Paso por paso

Servicio

EJEMPLO 7A.5: Cálculo aproximado de la línea de espera

Piense en el caso de un centro de llamadas que toma pedidos de un negocio de compras por correo. Durante el periodo pico, el tiempo promedio entre las llamadas que llegan ($\overline{X}_a$) es de 0.5 de minuto, con una desvia-

ción estándar (S_a) de 0.203 minutos. El tiempo promedio para atender una llamada ($\overline{X}_s$) es de 4 minutos, y la desviación estándar del tiempo del servicio (S_s), de 2.5 minutos. Si el centro de llamadas emplea a nueve operadores para que atiendan las llamadas, ¿cuánto tiempo esperaría que los clientes aguarden antes de que se les atienda? ¿Qué impacto tendría agregar un operador más?

Solución

Excel: Filas

W_q es el tiempo que se supone que un cliente espera para recibir el servicio. El camino más conveniente para efectuar estos cálculos es con una hoja de cálculo; "Queue_Models.xls" es muy fácil de usar. Se requieren los pasos siguientes para calcular el tiempo de espera de los clientes.

Paso 1: Calcule la tasa esperada de llegadas de los clientes (λ), el ritmo del servicio por servidor (μ) y el coeficiente de variación del tiempo entre llegadas (C_a) y el tiempo de servicio (C_s).

$$\lambda = \frac{1}{\overline{X}_a} = \frac{1}{0.5} = 2 \text{ clientes por minuto}$$

$$\mu = \frac{1}{\overline{X}_s} = \frac{1}{4} = 0.25 \text{ clientes por minuto}$$

$$C_a = \frac{S_a}{\overline{X}_a} = \frac{0.203}{0.5} = 0.406$$

$$C_s = \frac{S_s}{\overline{X}_s} = \frac{2.5}{4} = 0.625$$

Paso 2: Calcule la utilización esperada de servidores (ρ).

$$\rho = \frac{\lambda}{S\mu} = \frac{2}{9 \times 0.25} = 0.888889 \qquad \text{(Se espera que los operadores estén ocupados 89\% del tiempo.)}$$

Paso 3: Calcule el número esperado de personas en espera (L_q) y la duración de la espera (W_q).

$$L_q = \frac{\rho^{\sqrt{2(S+1)}}}{1-\rho} \times \frac{C_a^2 + C_s^2}{2} = \frac{0.888889^{\sqrt{2(9+1)}}}{1 - 0.888889} \times \frac{0.406^2 + 0.625^2}{2} = 1.476064 \text{ clientes}$$

(Es el número de clientes que se supone estén en espera en la fila.)

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} = \frac{1.476064}{2} = 0.738032 \text{ minutos}$$

En promedio, se espera que los clientes aguarden 44 segundos (0.738032 × 60) antes de hablar con un operador.

En el caso de 10 operadores, los cálculos son:

$$\rho = \frac{\lambda}{S\mu} = \frac{2}{10 \times 0.25} = 0.8 \qquad \text{(Se espera que los operadores estén ocupados 80\% del tiempo.)}$$

$$L_q = \frac{\rho^{\sqrt{2(S+1)}}}{1-\rho} \times \frac{C_a^2 + C_s^2}{2} = \frac{0.8^{\sqrt{2(10+1)}}}{1 - 0.8} \times \frac{0.406^2 + 0.625^2}{2} = 0.487579 \text{ clientes}$$

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} = \frac{0.487579}{2} = 0.24379 \text{ minutos}$$

Con 10 operadores, el tiempo de espera se reduce un tercio a 14.6 segundos. Si se suma a dos operadores (para tener un total de 11), el tiempo de espera en la fila es de 6.4 segundos. La suma del primer operador adicional tiene un efecto significativo en el tiempo de espera de los clientes. ●

Este cálculo aproximado es muy útil en muchas situaciones habituales de filas. Es fácil aplicarlo mediante una hoja de cálculo como "Queue_Models.xls". Recuerde que el cálculo aproximado supone que la población que se atiende es grande y que los clientes llegan de uno en uno. El cálculo aproximado es muy útil para un análisis rápido de una situación en la que existan filas.

Simulación computarizada de las filas de espera

Algunos problemas de las líneas de espera que parecen sencillos a primera vista resultan en extremo difíciles o imposibles de resolver. A lo largo de este capítulo se abordaron situaciones en las cuales se presentan filas de espera independientes; es decir, el sistema entero consiste en una sola fase, o cada servicio brindado en una serie es independiente (esto puede suceder si se permite que se acumule el producto de un local de servicios delante del siguiente, de modo que, en esencia, se convierte en una población que requiere el siguiente servicio). Cuando se brinda una serie de servicios en secuencia, en la cual el índice del producto de un paso se convierte en el índice del insumo del siguiente, ya no se pueden aplicar fórmulas sencillas. Lo anterior vale también en problemas cuyas condiciones no cumplen con los requisitos de las ecuaciones, como se especifica en la ilustración 7A.8. La técnica idónea para resolver estos problemas es una simulación computarizada. En el capítulo 19A se aborda el tema de modelos y simulaciones.

Resumen

Los problemas de las líneas de espera son un reto y una frustración para quienes tratan de resolverlos. El objetivo básico es equilibrar el costo de la espera con el costo de añadir más recursos. En sistemas de un servicio, ello significa que la utilización de un servidor puede ser demasiado baja para ofrecer un tiempo de espera breve al cliente. Un punto determinante al abordar problemas de filas de espera está en determinar el procedimiento o regla de prioridad para elegir el siguiente producto o cliente que reciba atención.

Muchos problemas de filas parecen sencillos hasta que se intenta resolverlos. Este capítulo abordó problemas muy simples. Si la situación se complica, si hay múltiples fases o si los servicios se brindan exclusivamente en una secuencia particular, entonces será necesario recurrir a las simulaciones computarizadas para obtener la solución óptima.

Conceptos clave

Filas Línea de personas, trabajos, cosas o demás que están en espera.

Sistema de filas Abarca tres componentes básicos: 1) la población fuente y la forma como los clientes llegan al sistema, 2) los sistemas para brindar el servicio y 3) la forma como los clientes salen del sistema.

Tasa de llegadas Número esperado de clientes que llegan en cada periodo.

Distribución exponencial Probabilidad de una distribución que suele asociarse a los tiempos entre llegadas.

Distribución de Poisson Probabilidad de una distribución con que se suele describir el número de llegadas en un periodo dado.

Ritmo del servicio Capacidad de un servidor medida en términos del número de unidades que procesa en un periodo dado.

Revisión de fórmulas

Distribución exponencial

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad \textbf{(7A.1)}$$

Distribución de Poisson

$$P_T(n) = \frac{(\lambda T)^n e^{-\lambda T}}{n!} \quad \textbf{(7A.2)}$$

Modelo 1 (Vea ilustración 7A.8.)

$$L_q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} \qquad W_q = \frac{L_q}{\lambda} \qquad P_n = \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right)\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \qquad P_0 = \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right) \quad \textbf{(7A.3)}$$

$$L_s = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} \qquad W_s = \frac{L_s}{\lambda} \qquad \rho = \frac{\lambda}{\mu}$$

Modelo 2

$$L_q = \frac{\lambda^2}{2\mu(\mu - \lambda)} \qquad W_q = \frac{L_q}{\lambda}$$

$$L_s = L_q + \frac{\lambda}{\mu} \qquad W_s = \frac{L_s}{\lambda} \tag{7A.4}$$

Modelo 3

$$L_s = L_q + \lambda/\mu \qquad W_s = L_s/\lambda$$

$$W_q = L_q/\lambda \qquad P_w = L_q\left(\frac{S\mu}{\lambda} - 1\right) \tag{7A.5}$$

Modelo 4

$$X = \frac{T}{T + U} \qquad H = FNX \qquad L = N(1 - F) \qquad n = L + H$$

$$P_n = \frac{N!}{(N - n)!}X^n P_0 \qquad J = NF(1 - X) \tag{7A.6}$$

$$W = \frac{L(T + U)}{N - L} = \frac{LT}{H} \qquad F = \frac{T + U}{T + U + W}$$

Cálculo aproximado del tiempo de espera

$$\overline{X} = \sum_{i=1}^{N} x_i \Big/ N \qquad \text{(media)} \tag{7A.7}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \overline{X})^2}{N - 1}} \qquad \text{(desviación estándar)} \tag{7A.8}$$

$$C_s = \frac{S_s}{\overline{X}_s} \qquad C_a = \frac{S_a}{\overline{X}_a} \qquad \lambda = \frac{1}{\overline{X}_a} \qquad \mu = \frac{1}{\overline{X}_s} \tag{7A.9}$$

$$\rho = \frac{\lambda}{S\mu}$$

$$L_q = \frac{\rho^{\sqrt{2(S+1)}}}{1 - \rho} \times \frac{C_a^2 + C_s^2}{2} \qquad L_s = L_q + S\rho \tag{7A.10}$$

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} \quad W_s = \frac{L_s}{\lambda}$$

Problemas resueltos

Problema resuelto 1

Excel: Filas

Quick Lube Inc. es un negocio de lubricación y cambio de aceite rápidos. En un día normal, los clientes llegan a un ritmo de tres por hora y los trabajos de lubricación se efectúan con un ritmo promedio de uno cada 15 minutos. Los mecánicos operan en forma de equipo, en un automóvil a la vez.

Suponga que las llegadas son en forma de Poisson y el servicio es exponencial, encuentre:

a) La utilización del equipo de lubricación.
b) El número promedio de automóviles en fila.
c) El tiempo promedio que un automóvil espera para su lubricación.
d) El tiempo total que se tarda en pasar por el sistema (es decir, tiempo en la fila más tiempo de lubricación).

Solución

$\lambda = 3, \mu = 4$

a) Utilización $\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{3}{4} = 75\%.$

b) $L_q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} = \frac{3^2}{4(4 - 3)} = \frac{9}{4} = 2.25$ automóviles en la fila.

c) $W_q = \frac{L_q}{\lambda} = \frac{2.25}{3} = 0.75$ horas, o 45 minutos.

d) $W_s = \frac{L_s}{\lambda} = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} \Big/ \lambda = \frac{3}{4-3} \Big/ 3 = 1$ hora (espera + lubricación).

Problema resuelto 2

American Vending Inc. (AVI) suministra alimentos para las máquinas vendedoras de una universidad muy grande. Como los estudiantes muchas veces patean las máquinas por ira o frustración, la gerencia afronta el problema de sus constantes reparaciones. Estas máquinas se descomponen con un promedio de tres por hora, y las descomposturas se distribuyen en forma de Poisson. El tiempo que las máquinas están paradas cuesta a la empresa 25 dólares por hora por unidad, y cada trabajador de mantenimiento gana 4 dólares por hora. Un trabajador da servicio a las máquinas con un ritmo promedio de cinco por hora, con distribución exponencial; dos trabajadores juntos dan servicio a siete por hora, con distribución exponencial; y un equipo de tres trabajadores da servicio a ocho por hora, también con distribución exponencial.

Excel: Filas

¿Cuál es el tamaño óptimo de la cuadrilla de mantenimiento para dar servicio a las máquinas?

Solución

Caso I. Un trabajador:

$\lambda = 3$/hora Poisson, $\mu = 5$/hora exponencial

El sistema tiene un número promedio de máquinas de

$$L_s = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} = \frac{3}{5-3} = \frac{3}{2} = 1\frac{1}{2} \text{ máquinas}$$

El costo de las máquinas paradas es de $25 × 1.5 = $37.50 por hora; el costo de la reparación es de $4.00 por hora; y el costo total por hora con 1 trabajador es de $37.50 + $4.00 = $41.50.

Tiempo parada (1.5 × $25) =	$37.50
Mano de obra (1 trabajador × $4) =	4.00
	$41.50

Caso II. Dos trabajadores:

$\lambda = 3, \mu = 7$

$$L_s = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} = \frac{3}{7-3} = 0.75 \text{ máquinas}$$

Tiempo parada (0.75 × $25) =	$18.75
Mano de obra (2 trabajador × $4) =	8.00
	$26.75

Caso III. Tres trabajadores:

$\lambda = 3, \mu = 8$

$$L_s = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} = \frac{3}{8-3} = \frac{3}{5} = 0.60 \text{ máquinas}$$

Tiempo parada (0.60 × $25) =	$15.00
Mano de obra (3 trabajador × $4) =	12.00
	$27.0

Al comparar los costos con uno, dos o tres trabajadores, se ve que el caso II, con dos trabajadores, es la decisión óptima.

Problema resuelto 3

American Bank tiene un solo cajero automático en un centro comercial. Se recopilaron datos durante un periodo de uso pico un sábado por la tarde y se observó que el tiempo promedio entre llegadas de los clientes era de 2.1 minutos, con una desviación estándar de 0.8 de minuto. También se vio que un cliente tarda un promedio de 1.9 minutos en realizar su operación, con una desviación estándar de 2 minutos. ¿Más o menos cuánto tiempo tendrán que esperar los clientes en fila durante el periodo pico de uso?

Excel: Filas

Solución

Paso 1: Calcule la tasa esperada de llegadas de los clientes (λ), el ritmo del servicio por servidor (μ), y el coeficiente de variación para la distribución de llegadas (C_a) y la distribución del servicio (C_s).

$$\lambda = \frac{1}{\overline{X}_a} = \frac{1}{2.1} = 0.47619 \text{ clientes por minuto}$$

$$\mu = \frac{1}{\overline{X}_s} = \frac{1}{1.9} = 0.526316 \text{ clientes por minuto}$$

$$C_a = \frac{S_a}{\overline{X}_a} = \frac{0.8}{2.1} = 0.380952$$

$$C_s = \frac{S_s}{\overline{X}_s} = \frac{2}{1.9} = 1.052632$$

Paso 2: Calcule la utilización esperada de los servidores (ρ).

$$\rho = \frac{\lambda}{S\mu} = \frac{0.47619}{1 \times 0.526316} = 0.904762$$ (Se espera que los operadores estén ocupados 90.5% del tiempo.)

Paso 3: Calcule el número esperado de personas en fila (L_q) y la duración de la espera (W_q).

$$L_q = \frac{\rho^{\sqrt{2(S+1)}}}{1-\rho} \times \frac{C_a^2 + C_s^2}{2} = \frac{0.904762^{\sqrt{2(1+1)}}}{1 - 0.904762} \times \frac{0.380952^2 + 1.052632^2}{2}$$

= 5.385596 clientes (Es el número de clientes que se espera estén formados para recibir atención.)

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} = \frac{5.385596}{0.47619} = 11.30975 \text{ minutos}$$

Se espera que los clientes aguarden, en promedio, 11 minutos y 19 segundos (0.30975×60) antes de tener acceso al cajero automático.

Preguntas de repaso y análisis

1. Los factores culturales afectan las filas de espera, por ejemplo, las cajas rápidas (10 artículos o menos) no son comunes en Japón. ¿A qué supone que se debe?
2. ¿Cuántas filas de espera encontró la última vez que viajó por avión?
3. Señale la diferencia entre un *canal* y una *fase*.
4. ¿Cuál es el principal equilibrio que se debe obtener cuando se manejan situaciones de filas de espera?
5. ¿Qué suposiciones se necesitan para emplear las fórmulas del modelo I?
6. ¿En qué sentido la regla del primero en entrar, primero en salir puede ser injusta para el cliente que espera para obtener servicio en un banco o en un hospital?
7. Defina, en sentido práctico, lo que quiere decir *tiempo exponencial del servicio*.
8. ¿Esperaría que la distribución exponencial represente un buen cálculo aproximado de los tiempos del servicio en el caso de
   a) comprar en el aeropuerto un boleto de avión?
   b) subirse al carrusel de una feria?
   c) tramitar la salida en un hotel?
   d) terminar un examen semestral en su clase de AOS?
9. ¿Esperaría que la distribución de Poisson fuera un buen cálculo aproximado de
   a) corredores que cruzan la meta final en el Maratón de Boston?
   b) los tiempos de llegada de los estudiantes a su clase de AOS?
   c) los tiempos de llegada a la parada de autobuses de su escuela?

Problemas

1. Los estudiantes llegan a la Oficina de Servicios Administrativos con un promedio de uno cada 15 minutos, y el trámite de sus solicitudes tarda un promedio de 10 minutos. El mostrador de servicios solo cuenta con una empleada, Judy Gumshoes, quien trabaja ocho horas al día. Suponga que las llegadas son Poisson y los tiempos del servicio son exponenciales.

a) ¿Qué porcentaje de tiempo está inactiva Judy?
b) ¿Cuánto tiempo pasa un estudiante, en promedio, en la fila de espera?
c) ¿Cuál es el promedio (de espera) en la fila?
d) ¿Cuál es la probabilidad de que un estudiante encuentre (justo antes de entrar a la Oficina de Servicios Administrativos) cuando menos a otro estudiante esperando en fila?

2. Los administradores de la Oficina de Servicios Administrativos estiman que el tiempo que un estudiante pasa formado les cuesta (por la pérdida de buena voluntad y demás) 10 dólares por hora. Para disminuir el tiempo de espera de los alumnos, saben que necesitan mejorar el tiempo de procesamiento que tarda Judy (vea el problema 1). En la actualidad consideran las dos opciones siguientes:
a) Instalar un sistema de cómputo, con el cual Judy espera terminar la solicitud de un estudiante 40% más rápido (por ejemplo, de 2 minutos a 1 minuto y 12 segundos por solicitud).
b) Contratar a un empleado eventual, que trabajaría con el mismo ritmo que Judy.
Si la operación de la computadora cuesta 99.50 dólares por día, mientras que el empleado eventual percibe 75 dólares diarios, ¿Judy hace bien en preferir que contraten a una persona? Suponga que las llegadas son Poisson, y los tiempos del servicio, exponenciales.

3. Sharp Discounts Wholesale Club tiene dos escritorios de servicio, uno en cada entrada de la tienda. Los clientes se dirigen a cada escritorio de servicio con un promedio de uno por seis minutos. El ritmo de servicio en cada escritorio es de cuatro minutos por cliente.
a) ¿Con cuánta frecuencia (qué porcentaje de tiempo) está inactivo cada escritorio?
b) ¿Cuál es la probabilidad de que los dos empleados de servicios estén ocupados?
c) ¿Cuál es la probabilidad de que los dos empleados de servicios estén inactivos?
d) ¿Cuántos clientes esperan en fila, en promedio, frente a cada escritorio de servicios?
e) ¿Cuánto tiempo pasa un cliente en un escritorio de servicios (tiempo de espera y de servicio)?

4. Sharp Discounts Wholesale Club considera consolidar sus dos escritorios de servicios (vea el problema 3) en una sola ubicación, con dos empleados. Los oficinistas mantendrían su mismo ritmo de trabajo individual: cuatro minutos por cliente.
a) ¿Cuál es la probabilidad de tener que esperar en fila?
b) ¿Cuántos clientes, en promedio, esperan en fila?
c) ¿Cuánto tiempo pasa un cliente en el escritorio de servicios (tiempo de espera y de servicio)?
d) ¿Considera usted que Sharp Discounts Wholesale Club debe consolidar los escritorios de servicios?

5. Burrito King (nueva franquicia de comida rápida que operará en todo el país) logró automatizar la producción de burritos para sus establecimientos de comida rápida, con servicio en el automóvil. El Burro-Master 9000 requiere 45 segundos constantes para producir un lote de burritos. Se estima que los clientes llegarán a la ventanilla de servicio en el automóvil, en forma de distribución Poisson, con un promedio de uno cada 50 segundos. Para determinar el espacio que necesitará la línea de la ventanilla de servicio en el automóvil, Burrito King quiere conocer el tiempo promedio que se espera en el sistema, la longitud promedio de la fila (de automóviles) y el número promedio de automóviles en el sistema (en fila y en la ventanilla).

6. Bijou Theater, de Hermosa Beach, California, exhibe películas viejas. Los clientes llegan a la fila del cine con un ritmo de 100 por hora. La persona que vende las entradas tarda un promedio de 30 segundos por cliente, lo cual incluye sellar el boleto del estacionamiento de los clientes y perforar sus tarjetas de espectador frecuente. (Con estos servicios agregados, muchos clientes no consiguen entrar antes de que empiece la película.)
a) ¿Cuál es el tiempo promedio que el cliente está en el sistema?
b) Si se contratara a un segundo empleado que solo se encargara de sellar y perforar las tarjetas, lo que recortaría el tiempo promedio del servicio a 20 segundos, ¿cuál sería el efecto en el tiempo del cliente en el sistema?
c) Si se abriera una segunda taquilla con un encargado de las tres tareas, ¿el tiempo de espera del sistema sería menor que el que encontró en el inciso *b*)?

7. Heart Association, para apoyar la Semana Nacional del Corazón, piensa instalar una caseta en El Con Mall donde tomará la presión arterial gratis durante una semana. Su experiencia indica que, en promedio, 10 personas solicitan la prueba por hora. Suponga que las llegadas son Poisson y la población es infinita. Cada toma de presión arterial consume un tiempo constante de cinco minutos. Suponga que la longitud de la fila es infinita y tiene una disciplina de PEPS.
a) ¿Qué número promedio de personas en fila cabe esperar?
b) ¿Qué número promedio de personas cabe esperar en el sistema?
c) ¿Cuál es la cantidad promedio de tiempo que una persona puede suponer que pasará formada?
d) ¿Cuánto tiempo tardará, en promedio, tomar la presión arterial de una persona, incluido el tiempo de espera?

e) Se espera que, el fin de semana, la tasa de llegadas se incremente a más de 12 por hora. ¿Qué efecto tendrá esto en el número de personas en la fila de espera?

8. La línea de servicio de una cafetería cuenta con una enorme cafetera para que se sirvan solos los clientes. Las llegadas a la cafetera siguen una distribución de Poisson, con un ritmo de tres por minuto. Los clientes tardan unos 15 segundos en servirse, con distribución exponencial.

a) ¿Cuántos clientes esperaría encontrar en promedio en la cafetera?
b) ¿Cuánto esperaría tardarse en servirse una taza de café?
c) ¿Qué porcentaje de tiempo se usa la cafetera?
d) ¿Cuál es la probabilidad de que tres o más personas estén en la cafetería?
e) Si la cafetería instala una máquina automática para vender café que sirve una taza con un tiempo constante de 15 segundos, ¿ello cómo cambiaría sus respuestas a los incisos *a*) y *b*)?

9. Un despacho de ingenieros contrató a un técnico especialista para que ayude a cuatro ingenieros de diseño que trabajan en un proyecto. El tiempo que el especialista ayuda a los ingenieros varía mucho. El especialista sabe algunas respuestas, pero para otras tiene que consultar la computadora y en otras más debe investigar una cantidad sustantiva de tiempo. En promedio, cada petición de ayuda requiere una hora del especialista.

Los ingenieros solicitan la ayuda del especialista, en promedio, una vez al día. Como cada asistencia tarda alrededor de una hora, cada ingeniero trabaja un promedio de siete horas sin ayuda. Otro punto más: los ingenieros que necesitan ayuda no interrumpen el trabajo si el especialista está ocupado.

Aborde el problema como de fila finita y conteste las preguntas siguientes:

a) En promedio, ¿cuántos ingenieros esperan la ayuda del especialista técnico?
b) ¿Cuál es el tiempo promedio que un ingeniero debe esperar al especialista?
c) ¿Cuál es la probabilidad de que un ingeniero tenga que esperar su turno por el especialista?

10. L. Winston Martin (alergólogo de Tucson) tiene un estupendo sistema para manejar a sus pacientes asiduos que solo acuden al consultorio por sus vacunas contra alergias. Los pacientes llegan por su vacuna y anotan su nombre en un papel, lo introducen por una ranura que conecta con la sala contigua, donde hay una o dos enfermeras. Ahí, preparan las vacunas específicas para el paciente, lo llaman por altavoz a la sala y lo vacunan. En ciertos momentos del día, la carga de pacientes baja y solo se necesita una enfermera para aplicar las vacunas.

Concéntrese en el caso más sencillo de los dos, es decir, el de una sola enfermera. Asimismo, suponga que los pacientes llegan en forma de Poisson y que el ritmo del servicio de la enfermera tiene una distribución exponencial. Durante el periodo más lento, el ritmo entre llegadas de los pacientes es de unos tres minutos. La enfermera tarda un promedio de dos minutos en preparar la vacuna e inyectarla.

a) ¿Qué número promedio de pacientes esperaría encontrar en el consultorio del doctor Martin?
b) ¿Cuánto tiempo tardaría un paciente en llegar, recibir su vacuna y marcharse?
c) ¿Cuál es la probabilidad de que haya tres o más pacientes en el consultorio?
d) ¿Cuál es la utilización de la enfermera?
e) Suponga que hay tres enfermeras. Cada una tarda un promedio de dos minutos en preparar las vacunas e inyectarlas. ¿Cuál es el tiempo promedio total que el paciente está en el sistema?

11. Judy Gray Income Tax Service analiza las operaciones de servicios brindados a los clientes durante el mes anterior a la declaración anual de abril. Con base en datos anteriores, el despacho estima que los clientes llegan en forma Poisson, con un tiempo promedio entre llegadas de 12 minutos. El tiempo para llenar la forma de la declaración de un cliente se distribuye de modo exponencial, con una media de 10 minutos. Con la información anterior, responda las preguntas siguientes:

a) Si usted acudiera a Judy, ¿cuánto tiempo cree que tardaría que le prepararan su declaración?
b) En promedio, ¿cuánto espacio se debe dedicar al área de espera?
c) Si Judy estuviera en su despacho 12 horas diarias, ¿qué promedio de horas estaría ocupada cada día?
d) ¿Qué probabilidad existe de que el sistema esté inactivo?
e) Si la tasa de llegadas no cambia pero el tiempo promedio en el sistema fuera de 45 minutos o menos, ¿qué habría que cambiar?

12. Un negocio de copiadoras tiene cuatro equipos automáticos, pero en ocasiones se encuentran parados porque necesitan abastos, mantenimiento o reparación. Cada unidad requiere más o menos dos servicios cada hora o, para ser exactos, cada unidad de equipo trabaja un promedio de 30 minutos antes de necesitar servicio. Los tiempos del servicio varían en gran medida, desde un servicio sencillo (como oprimir el interruptor de reiniciar o reabastecer el papel) hasta desmontar el equipo en cuestión. No obstante, el tiempo promedio del servicio es de cinco minutos.

El tiempo que el equipo está parado genera una pérdida de 20 dólares por hora. El único empleado que atiende el equipo gana 6 dólares por hora.

Con el análisis de fila finita, responda las preguntas siguientes:

a) ¿Cuál es el número promedio de unidades en espera?
b) ¿Cuál es el número promedio de unidades que siguen operando?
c) ¿Cuál es el número promedio de unidades que reciben servicio?
d) La empresa considera añadir a otro encargado con el mismo sueldo de 6 dólares por hora. ¿Lo debe hacer?

13. Benny, el barbero, tiene un local con un solo sillón. En el colegio de barberos le dijeron que sus clientes llegarían con una distribución en forma Poisson y que brindaría sus servicios con una distribución exponencial. Benny encargó un estudio de mercado cuyos datos revelan que los clientes llegan con un ritmo de dos por hora. Él tarda un promedio de 20 minutos en un corte de cabello. Con base en estas cifras, encuentre:
a) El promedio de clientes en espera.
b) El tiempo promedio que espera un cliente.
c) El tiempo promedio que un cliente está en la peluquería.
d) El promedio de la utilización del tiempo de Benny.

14. Bobby, el barbero, piensa anunciarse en un periódico local porque está inactivo 45% del tiempo. En la actualidad, los clientes llegan en promedio cada 40 minutos. ¿Cuál debe ser el ritmo de las llegadas para que Bobby esté ocupado 85% del tiempo?

15. Benny, el barbero (vea el problema 13), considera añadir otro sillón (es decir, contratar a un colega). Los clientes en espera pasarían a su corte con base en el PEPS. Benny supone que los dos barberos tardarían un promedio de 20 minutos por cada corte de cabello y que el negocio no cambiaría si los clientes llegaran con un ritmo de dos por hora. Encuentre la siguiente información para ayudar a Benny a decidir si debe añadir un segundo sillón:
a) El promedio de clientes en espera.
b) El tiempo promedio que espera un cliente.
c) El tiempo promedio que un cliente está en la peluquería.

16. Los clientes entran en el departamento de cámaras fotográficas de una tienda con un ritmo promedio de seis por hora. El departamento solo tiene un dependiente, que tarda un promedio de seis minutos en atender a cada cliente que llega. Suponga que se trata de una simple situación de llegadas en forma de Poisson y de tiempo de servicio con distribución exponencial.
a) Tras observar la situación, ¿cuántas personas esperaría encontrar en el departamento de cámaras (sin contar al dependiente)? ¿Cuánto tiempo esperaría pasar un cliente en el departamento de cámaras (tiempo total)?
b) ¿Cuál es la utilización del dependiente?
c) ¿Cuál es la probabilidad de que haya más de dos personas en el departamento de cámaras (sin contar al dependiente)?
d) Se contrató a otro dependiente para el departamento de cámaras, quien también tarda un promedio de seis minutos en atender a cada cliente que llega. ¿Ahora cuánto tiempo esperaría pasar un cliente en el departamento?

17. Cathy Livingston, cantinera del Tucson Racquet Club, sirve bebidas con un ritmo de una cada 50 segundos. Hace poco, en una noche que hizo mucho calor, el bar estuvo particularmente lleno y cada 55 segundos una persona se acercó a la barra a pedir una bebida.
a) Si se supone que todas las personas en el bar beben con el mismo ritmo y Cathy atiende a los clientes de modo que el primero en llegar es el primero en saciar su sed, ¿cuánto tiempo considera que tendría que esperar usted para obtener su bebida?
b) ¿Cuántas personas considera que estarían esperando sus bebidas?
c) ¿Cuál es la probabilidad de que tres o más personas estén esperando a que les sirvan?
d) ¿Cuál es la utilización de la cantinera (cuán ocupada está)?
e) Si se sustituye a la cantinera con una máquina automática que sirve bebidas, ¿cómo cambiaría su respuesta al inciso *a*)?

18. Una oficina tiene varios empleados que crean documentos y otro empleado que captura la información del documento en un procesador de palabras. El grupo crea documentos con un ritmo de 25 por hora. El empleado captura la información en un tiempo promedio de dos minutos, con distribución exponencial. Suponga que la población es infinita, que las llegadas son en forma Poisson, la longitud de la fila es infinita y que sigue un orden de PEPS.
a) Calcule el porcentaje de utilización del capturista.
b) Calcule el número promedio de documentos en el sistema.
c) Calcule el tiempo promedio en el sistema.
d) Calcule la probabilidad de que cuatro o más documentos estén en el sistema.
e) Si se agregara a otro oficinista, el ritmo de la creación de documentos aumentaría a 30 por hora. ¿Qué provocaría esto con la carga de trabajo del procesador de palabras? Demuestre por qué.

19. Se instituyó un cubículo para ayudar a los estudiantes a estudiar, el cual cuenta con un estudiante graduado que contesta las preguntas de los estudiantes y les ayuda a resolver problemas de su curso de AOS. El cubículo está abierto ocho horas al día. El director quiere saber cómo está funcionando el cubículo. Las estadísticas indican que los estudiantes llegan con un ritmo de cuatro por hora y la distribución es más o menos en forma Poisson. El tiempo de la ayuda dura, en promedio, 10 minutos, con distribución exponencial. Suponga que la población y la longitud de la línea son infinitas y el orden de la fila es PEPS.

a) Calcule el porcentaje de utilización del estudiante graduado.
b) Calcule el número promedio de estudiantes en el sistema.
c) Calcule el tiempo promedio en el sistema.
d) Calcule la probabilidad de que cuatro o más estudiantes estén en fila o recibiendo el servicio.
e) Antes de un examen, las llegadas de estudiantes aumentan un promedio de seis por hora. ¿Cómo repercute esto en la longitud promedio de la fila?

20. En la garita aduanal de la frontera de California, los vehículos llegan con un ritmo de 10 por minuto y una distribución Poisson. Para simplificar el problema, suponga que solo hay un carril y un agente aduanal que inspecciona los vehículos con un ritmo de 12 por minuto, con una distribución exponencial.

a) ¿Cuál es la longitud promedio de la fila de espera?
b) ¿Cuál es el tiempo promedio que un vehículo debe esperar para pasar por el sistema?
c) ¿Cuál es la utilización del agente aduanal?
d) ¿Cuál es la probabilidad de que cuando usted llegue haya tres o más vehículos delante de usted?

21. La garita aduanal de la frontera de California (vea el problema 20) considera añadir a un segundo agente. Los vehículos esperarían en un carril y de ahí se dirigirían al primer agente que quedase libre. La tasa de llegadas sería la misma (10 por minuto) y el nuevo agente inspeccionaría los vehículos con el mismo ritmo que el primero (12 por minuto).

a) ¿Cuál sería la longitud promedio de la fila de espera?
b) ¿Cuál sería el tiempo promedio que un vehículo debe esperar para pasar por el sistema?

Si se abriera un segundo carril (uno por cada agente):

c) ¿Cuál sería la longitud promedio de la fila de espera?
d) ¿Cuál sería el tiempo promedio que un vehículo debe esperar para pasar por el sistema?

22. Durante el Festival de Primavera de la universidad, el puesto de los carritos chocones tiene el problema de que los vehículos quedan deshabilitados y necesitan reparación. Se puede contratar a mecánicos que se encarguen con un salario de 20 dólares por hora, pero solo trabajan en equipo. Por tanto, si se contrata a una persona, no trabajará sola, sino dos o tres juntas en la misma reparación.

Un mecánico repara carritos en un tiempo promedio de 30 minutos; dos mecánicos tardan 20 minutos, y tres, 15 minutos. Mientras estos carros están parados, el ingreso perdido es de 40 dólares por hora. Los autos tienden a descomponerse con un ritmo de dos por hora.

¿A cuántos mecánicos se debe contratar?

23. Un túnel de peaje decidió probar suerte y cobrar el peaje con tarjeta de débito. Al inicio, solo se usará un carril. Se estima que los autos llegarán a este carril experimental con un ritmo de 750 por hora. Se tardarán exactamente cuatro segundos en aprobar la tarjeta de débito.

a) ¿Cuánto tiempo considera que el cliente tardaría en esperar en fila, pagar con la tarjeta de débito y marcharse?
b) ¿Cuántos autos esperaría encontrar en el sistema?

24. Usted diseña un banco. Planea tener seis cajeros. Los cajeros tardan 15 minutos por cliente con una desviación estándar de siete minutos. Los clientes llegan con un ritmo de uno cada tres minutos y una distribución exponencial (recuerde que la desviación estándar es igual a la media). Al final, se atiende a todos los clientes.

a) En promedio, ¿cuántos clientes estarían formados?
b) En promedio, ¿cuánto tiempo pasaría un cliente en el banco?
c) Si un cliente llega, ve la fila y decide no formarse, ese cliente habrá optado por ___.
d) Si un cliente se forma pero se va antes de recibir el servicio, se dice que ___.

25. Usted diseña la nueva distribución de la sucursal local de Sixth Ninth Bank. Considera colocar ventanillas separadas de cajeros para tres clases de servicios. Cada clase de servicio tendría sus propios cajeros y clientes por separado. Por extraño que parezca, cada clase de servicio, si bien distinto, tiene exactamente la misma demanda y tarda lo mismo. Las personas que requieren una clase de servicio llegan cada cuatro minutos y los tiempos de las llegadas tienen una distribución exponencial (la desviación estándar es igual a la media). Tarda siete minutos atender a cada cliente y la desviación estándar de los tiempos del servicio es de tres minutos. Usted asigna dos cajeros a cada tipo de servicio.

a) En promedio, ¿qué longitud tendrá la fila de cada ventanilla?

b) En promedio, ¿cuánto tiempo pasará un cliente en el banco (suponga que entra, se forma y sale tan pronto como lo atienden).
Usted decide consolidar todos los cajeros de modo que atiendan a todo tipo de clientes sin incrementar los tiempos del servicio.

c) ¿Qué ocurre con la cantidad de tiempo que cada cajero pasa inactivo? (Aumenta, disminuye, no cambia, depende de _____.)

d) ¿Qué pasa con la cantidad promedio de tiempo que un cliente pasa en el banco? (Aumenta, disminuye, no cambia, depende de _____.)

26. Un restaurante local de comida rápida quiere analizar su ventanilla de servicio en el coche. En este momento, la única información conocida es el número promedio de clientes en el sistema (4.00) y el tiempo promedio que el cliente pasa en el restaurante (1.176 minutos). ¿Cuál es el ritmo de las llegadas y el ritmo de los servicios?

Caso: Sala de cirugía nocturna de un hospital comunitario

El American College of Surgeons formuló los criterios para determinar las normas de los quirófanos en Estados Unidos. Se requiere que los centros de traumatología de nivel I y II tengan personal de quirófano fijo las 24 horas del día. Por tanto, es obligatorio tener un nivel básico de un equipo de personal de quirófano disponible las 24 horas. En los horarios normales de actividades, un hospital suele tener disponibles equipos adicionales de personal de quirófano porque hay diversas cirugías programadas dentro de este horario y estos equipos adicionales pueden atender urgencias. No obstante, se debe tomar una importante decisión respecto de la disponibilidad de un equipo de respaldo durante el horario nocturno.

Se necesita un equipo de respaldo durante el horario nocturno cuando existe una probabilidad sustantiva de tener dos o más casos al mismo tiempo. Es difícil definir cuánto significa "sustantiva", pero para efectos de este caso suponga que el equipo de respaldo de personal de quirófano se debe emplear cuando se considera que la probabilidad de que ocurran dos o más casos al mismo tiempo excede 1%.

Hace poco, los médicos de Columbia University College of Physicians and Surgeons, en Stamford, Connecticut, estudiaron una aplicación real.[3] Analizaron los casos de urgencias que se presentaron durante un año, requirieron personal de quirófano y llegaron entre 11 p.m. y 7 a.m. Durante este periodo, 62 pacientes requirieron atención de personal de quirófano . El tiempo promedio del servicio fue de 80.79 minutos.

Para analizar el problema, piense que se trata de un sistema de un canal único y una fase única, con llegadas Poisson y tiempos de servicio exponencial.

Preguntas

1. Calcule la tasa de llegada y la tasa de servicio en promedio por cliente por hora.
2. Calcule la probabilidad de que haya cero pacientes en el sistema (P0), la probabilidad de un paciente (P1) y la probabilidad de que dos o más pacientes lleguen durante el turno nocturno.
3. Con el criterio de que si la probabilidad es mayor de 1% debe emplearse un equipo de respaldo de personal de quirófano, haga una recomendación a la administración del hospital.

Cuestionario

1. Según los modelos de filas, ¿en qué orden se supone que los clientes reciben atención?
2. Considere dos sistemas de filas idénticos excepto por la distribución del tiempo de servicio. En el primer sistema, el tiempo de servicio es aleatorio y tiene una distribución Poisson; en el segundo sistema, el tiempo de servicio es constante. ¿En qué forma sería diferente el tiempo de espera en los dos sistemas?
3. ¿Cuál es el promedio de utilización de los servidores en un sistema con tres servidores? En promedio, cada 15 minutos llegan 15 clientes. Un servidor tarda exactamente tres minutos en atender a cada cliente.
4. ¿Cuál es tiempo de espera supuesto para el sistema descrito en la pregunta 3?
5. Las empresas que desean altos niveles de servicio, en los cuales los clientes esperan poco tiempo, deben fijarse el objetivo de que los niveles de utilización de los servidores no superen este porcentaje.
6. Si una empresa aumenta 10% su capacidad de servicio, ¿en qué porcentaje esperaría que se redujeran los tiempos de espera? Suponga que las llegadas de clientes y tiempos de servicio son aleatorios.

1. El primero en entrar primero en salir 2. El tiempo de espera en el primer sistema es el doble del segundo 3. 100% 4. Infinito 5. 70 a 80% 6. Mayor que 10%

[3] J. B. Tucker, J. E. Barone, J. Cecere, R. G. Blabey y C. K. Rha, "Using Queuing Theory to Determine Operating Room Staffing Needs", *Journal of Trauma* 46, núm. 1, 1999, pp. 71-79.

Bibliografía seleccionada

Gross, D. y C. M. Harris, *Fundamentals of Queuing Theory,* Nueva York, Wiley, 1997.

Hillier, F. S. *et al*., *Queuing Tables and Graphs,* Nueva York, Elsevier-North Holland, 1981.

Kleinrock, L. y R. Gail, *Queuing Systems: Problems and Solutions,* Nueva York, Wiley, 1996.

Winston, W. L. y S. C. Albright, *Practical Management Science: Spreadsheet Modeling and Application,* Nueva York, Duxbury, 2000.

Capítulo 8

PROCESOS EN SERVICIOS MÉDICOS

Después de leer este capítulo, usted:

1. Tendrá una perspectiva sobre los desafíos extraordinarios de la administración de operaciones y cadena de suministros (AOCS) en servicios médicos.
2. Entenderá cómo aplicar a hospitales conceptos y métodos selectos de la AOCS.
3. Entenderá terminología importante sobre servicios médicos que se relaciona con decisiones de AOCS.

Una receta para innovar

El recién inaugurado laboratorio SPARC de la Clínica Mayo encabeza novedosos experimentos sobre servicios médicos. ¿Cómo?: procura que los médicos piensen más como diseñadores

Servicio

El primer prototipo de pabellón médico parecía un proyecto de escuela primaria o travesura escolar. No tenía pantalla y un tomacorrientes. Los pacientes miraban un papel y se esforzaban en imaginar el aparato real: una terminal de autoservicio de admisión para su cita con un médico. La siguiente versión fue menos primitiva, una computadora portátil con una pantalla táctil aparente, excepto que no funcionaba; una persona sentada al lado, con un teclado separado, capturaba la respuesta del sistema como si fuera un ventrílocuo de alta tecnología. El siguiente modelo tenía una pantalla táctil que sí respondía, pero la funcionalidad era escasa. No importaba, el pabellón ya estaba ahí y esa era la idea: poner frente a los pacientes la primera versión, un bosquejo basto, para ver qué les parecía. Luego, con su realimentación, daban ligeros ajustes y probaban de nuevo. A continuación hacían todo otra vez.

La Clínica Mayo de Rochester, Minnesota, no es ajena a la innovación. W. W. Mayo y sus hijos, a quienes aún conocen como el doctor Charlie y el doctor Will, fundaron su grupo de práctica rural a fines del siglo XIX a partir de un concepto nuevo en aquel tiempo: un servicio médico integral que comprendía a varios especialistas en el mismo edificio, para efectuar evaluaciones completas y administrar tratamientos coordinados. Desde entonces, la innovación forma parte vital del ADN de la clínica, tradicionalmente en el laboratorio de investigación.

Pero el método del pabellón, que presenta a los pacientes ideas sin pulir, es algo nuevo. El verano pasado, Mayo abrió el SPARC, labo-

Fuente: Adaptado de Chuck Salter, "A prescription for Innovation", sitio de internet de *Fast Company,* 19 de diciembre de 2007.

ratorio clínico de innovación que opera como taller de diseño y se especializa en "experiencia de pacientes". La finalidad del acrónimo, por sus siglas en inglés de "vea, planee, actúe, refine y comunique", es recordar a los participantes la metodología orientada al diseño para que no dejen de emplearla cuando regresen a sus departamentos. Médicos, enfermeras y personal de otros niveles hacen lo mismo que los diseñadores: entrevistan, dan seguimiento y observan a clientes (en este caso, pacientes) para identificar sus necesidades, se reúnen de manera informal entre sí para hallar soluciones y se comprometen a la formación de prototipos (de aquí el papel de pabellón, o quiosco).

A pesar de su situación como una de las instalaciones médicas mejor conocidas y respetadas en el mundo, Mayo enfrenta los mismos problemas que los diseñadores tienen por rutina: en un campo cada vez más competitivo, ¿cómo distinguirse de los demás? ¿Cómo generar ideas nuevas y ponerlas en práctica oportunamente? ¿Y cómo estar seguro de que esas ideas en realidad benefician a sus clientes?

> *Un hospital es una combinación de instalaciones para cuidados, hotel, restaurante y tienda, con personal profesional muy capacitado, apoyado por trabajadores con menores niveles de preparación, que utilizan tecnología de vanguardia y siguen una disciplina precisa para ejecutar un trabajo con una calidad de cero defectos en una población heterogénea, con la intención de que los pacientes estén en posibilidades de pagarlo.*
>
> *No es nada fácil…*

Servicio

El servicio médico es la industria de servicio más intensa entre las actividades de servicio, y la de mayor impacto en el cliente. En ninguna otra parte esto es más evidente que en un hospital, donde la excelencia operacional reviste importancia crítica en el tratamiento clínico de pacientes, la calidad de su experiencia y, desde luego, el costo. Esto es en particular esencial en Estados Unidos, donde se gastan más de $2 mil billones anuales en servicios médicos. No es solo el alto costo, sino que estudios recientes muestran que más de 55% de los estadounidenses manifiesta insatisfacción con la calidad del servicio médico. No obstante, numerosas organizaciones de servicio médico, como la Clínica Mayo, son innovadoras y son las mejores en la ejecución de sus operaciones. En este capítulo estudiaremos algunas características extraordinarias de hospitales y centros de salud; también veremos cómo aplicar conceptos y herramientas de la administración de operaciones y suministros (AOCS) para alcanzar resultados sobresalientes en esta crítica industria de servicios.

Naturaleza de operaciones de servicios médicos

Administración de operaciones de servicios médicos

La **administración de operaciones de servicios médicos** puede definirse como el diseño, administración y mejora de los sistemas que brindan servicios médicos. El servicio médico como tal se caracteriza por un extenso contacto con los clientes, una amplia variedad de servidores y prácticamente la vida o la muerte como resultados potenciales.

El centro de nuestro análisis de las operaciones de servicio médico es el hospital, si bien aquí todo es aplicable a clínicas de servicio médico más pequeñas. La definición estándar de un **hospital** es una instalación cuyo personal proporciona servicios relacionados con la observación, diagnóstico y tratamiento para curar o aminorar el sufrimiento de los pacientes. La observación comprende estudiar a pacientes y realizar pruebas para obtener un diagnóstico; el diagnóstico es la explicación de un experto médico de la causa de los síntomas; un tratamiento es el curso de acción a partir del diagnóstico. Todos los servicios de un hospital por lo general se organizan en torno de al menos uno de estos tres campos de acción.

Hospital

A continuación se presentan factores importantes que distinguen las operaciones de hospitales respecto de las de otras organizaciones.

- Los operadores indispensables en los procesos básicos son profesionales muy capacitados (especialistas médicos) que generan peticiones de servicio (órdenes) pero también intervienen en brindar el servicio.

- La relación entre los precios facturables y la operación real no es tan directa como en casi todos los demás ambientes de producción. Las medidas de calidad y servicio se basan en su mayor parte en opiniones más que en evidencias incuestionables.
- Los hospitales no tienen una línea sencilla de comando, pero se caracterizan por un delicado equilibrio de poder entre diferentes grupos de interés (administración, especialistas médicos, personal de enfermería y médicos de consulta), cada uno de los cuales tiene sus ideas acerca de los objetivos debidos para el desempeño de operaciones.
- Los métodos de control de producción suponen especificaciones completas y explícitas de las necesidades finales de productos y necesidades de entregas; en productos de hospitales, las especificaciones a menudo son subjetivas y vagas.
- El servicio hospitalario no es una mercancía almacenable; el hospital representa una organización de servicio orientada a recursos.

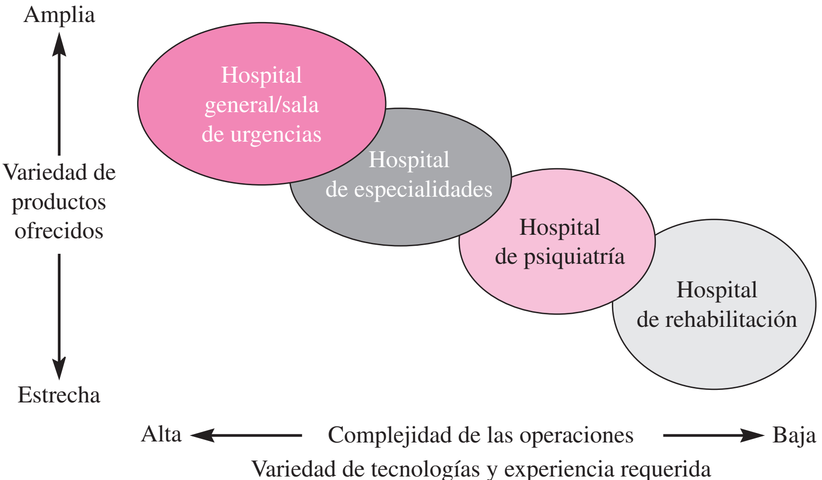
Clasificación de hospitales

La American Hospital Association clasifica los hospitales como sigue:

- *Hospital general/sala de urgencias.* Proporciona una amplia variedad de servicios para múltiples padecimientos.
- *Especialidades.* Proporciona servicios para un trastorno médico específico, por ejemplo, cardiología (enfermedades del corazón).
- *Psiquiatría.* Proporciona atención a trastornos de conducta y mentales.
- *Rehabilitación.* Proporciona servicios enfocados a restablecer la salud.

Al igual que en otras industrias, la complejidad de las operaciones de hospitales tiene un impacto importante en su desempeño. En la ilustración 8.1 se presentan estos cuatro tipos de hospitales en un marco de proceso de productos que relaciona la variedad de líneas de productos de servicios médicos con la complejidad de las operaciones. La complejidad inherente de los hospitales generales se amplía por su necesidad de tamaño físico y extensa tecnología para manejar una gran diversidad de necesidades de pacientes. El Hospital Chris Hani Baragwanath es el hospital más grande del mundo, con 70 hectáreas de superficie, 3 200 camas y un personal de 6 760 miembros. El hospital está en la zona de Soweto, en Johannesburgo, Sudáfrica. Las instalaciones de hospitales de especialidades también llegan a ser muy grandes, pero tienden a tener menor variedad de experiencia médica y tecnología. Un ejemplo sería el Hospital Johns Hopkins de Baltimore, que se centra en pacientes con cáncer. Los hospitales de psiquiatría son en cierto sentido de especialidades, pero como su interés clínico está en la mente y no en el cuerpo, su tecnología suele ser menor que la de los que abordan enfermedades físicas. Un ejemplo de hospital psiquiátrico es el McLean Hospital, afiliado a la Universidad de Harvard. Es muy

ILUSTRACIÓN 8.1 Marco del proceso del producto hospitalario.



reconocido por sus pacientes famosos. Las instalaciones de rehabilitación se consideran menos complejas porque, aunque utilizan tecnología, el tipo de labor es más de cuidado en comparación con el tratamiento activo propio de otros hospitales. Los hospitales de veteranos de guerra son representativos de esta categoría.

DISEÑO DE UN HOSPITAL Y CADENAS DE SERVICIO

El diseño establece las restricciones físicas en las operaciones de un hospital. La meta del diseño de un hospital es trasladar pacientes y recursos por las unidades y pisos para reducir al mínimo los tiempos de espera y de transporte. El diseño se determina mediante modelos de software que reduzcan los costos totales combinados de viaje de pacientes y personal. En situaciones en las que el flujo numérico de pacientes y de personal no permita apreciar factores cuantitativos, quizá resulten más adecuados los métodos manuales, como la planeación sistemática de diseño (que se estudia en el capítulo de diseños).

Una regla general para diseñar un hospital es separar los flujos de tráfico de pacientes y visitantes de los de personal. Los elevadores separados y corredores de recursos exclusivos son particularmente importantes para evitar congestionamientos y demoras. El principal elemento del diseño general de un hospital es la estación de enfermeras, que es el espacio del personal de apoyo. Hay numerosas estaciones de enfermeras en el hospital para dar apoyo a las diversas áreas de pacientes. Las estaciones de enfermeras de hoy en día suelen ser más compactas que los rectángulos alargados del pasado. Los rectángulos compactos, triángulos modificados o incluso círculos tienen la intención de acortar la distancia entre enfermeras y pacientes. La selección depende de problemas como la organización del programa de enfermería, la cantidad de camas de una unidad de enfermería y la de camas de una sala de pacientes. El crecimiento de tratamientos y ambientes más integrales y centrados en el paciente provocan modificaciones en el diseño para incluir pequeñas bibliotecas médicas y terminales de computadora, de modo que los pacientes investiguen sobre sus enfermedades y tratamientos, y las cocinas y comedores se ubican en unidades de pacientes para que sus familiares les preparen alimentos y coman juntos.

Cadena de servicio

El flujo de trabajo en un hospital se conoce generalmente como **cadena de servicio**, consistente en servicios para pacientes proporcionados por varias especialidades y funciones médicas en los departamentos. La ilustración 8.2 es una lista de las características habituales de procesos de cadena de servicio para grupos de pacientes clave en cirugía general. Una distinción importante entre los procesos de servicio médico mostrados en la ilustración es la magnitud con que se programa con eficiencia el acceso a tratamiento médico y recursos. Las situaciones de urgencia, como traumatología, deben resolverse de inmediato, requieren de rápido acceso a personal médico y, como resultado, son inherentemente ineficientes. Los procedimientos eficaces, por

ILUSTRACIÓN 8.2 Características de una cadena de procesos/cuidado en una unidad habitual de cirugía general.

Característica de cadena de proceso/servicio	Pacientes de traumatología	Pacientes de oncología (p. ej., tumores)	Pacientes para tratamiento de articulaciones
Urgencia o electiva	Urgencia	Electiva	Electiva
Urgencia	Alta	Moderada	Baja
Volumen	Alto	Medio	Alto
Tratamiento breve, largo o crónico	Breve	Crónico	Breve
Necesidad de diagnóstico	Inmediato	Continuo	Continuo
Necesidades de consulta	Tiempo limitado posible	Involucrado	Pocos
Cantidad de especialidades involucradas	Depende de la situación	Muchas	Pocas
Cuello de botella	Quirófano	Quirófano	Quirófano
Punto de desacoplamiento	Posoperatorio	Diagnóstico	Diagnóstico

Fuente: Con base en la obra de J. Vissers y R. Beech, *Health Operations Management*, Londres, Routledge, 2005, p. 45.

ILUSTRACIÓN 8.3 Diagrama de cadena de servicio de cirugía de cadera.

Lista de espera de cita
Primera consulta
Prueba de laboratorio
Segunda visita
Lista de espera de cirugía
Preparación de cirugía
Cirugía
Permanencia en unidad de cuidados posoperatorios

Remisión del GP y espera para cita con cirujano
Primera cita con cirujano para determinar si la operación es necesaria
Pruebas médicas para determinar la capacidad del paciente para soportar la cirugía
Cirujano analiza resultados y advierte riesgos
Programación O
Admisión al hospital
Decisiones de procedimiento
Cirujano verifica progreso y aconseja sobre rehabilitación

Tiempo de ciclo y costo creciente

Leyenda
Fila
Operación
Flujo de pacientes

otra parte, se programan para obtener un uso más eficiente de recursos. La cantidad de pasos, el tiempo de cada uno, y si la cadena de servicios tiene una terminación definida, afectan el uso de recursos y la complejidad de la programación. Una enfermedad crónica, por ejemplo, puede carecer de una terminación claramente identificable. La complejidad también aumenta por la necesidad de diagnósticos rápidos, consultas extensas y la necesidad de trabajar con otras especialidades. Los **puntos de desacoplamiento** son pasos en el proceso donde tiene lugar la espera, ya sea antes o después de ejecutar el procedimiento. Para muchas operaciones, es después del diagnóstico; en traumas, puede ser después de un tratamiento de urgencia y cuando el paciente se transfiera de la sala de recuperación a un pabellón del hospital.

Puntos de desacoplamiento

En la ilustración 8.3 se muestra un diagrama de flujo de trabajo de una cadena de servicio. Se concentra en los contactos entre el paciente y el proveedor de cirugía, como una cirugía de cadera. El flujo real puede ser más extenso, como cuando el paciente desea una segunda opinión, y se deja la recuperación en su casa. También se omiten modificaciones al flujo de proceso que resultan, por ejemplo, de las pruebas médicas del paciente que indican un problema particular, como una baja en la presión arterial. En este caso, el paciente se procesa en serie por diversas especialidades (p. ej., presión arterial primero y cambio de cadera después), en paralelo (presión arterial y cambio de cadera al mismo tiempo, una especialidad que asiste a la otra), o como equipo (ambas especialidades presentes en el quirófano al mismo tiempo).

Seguimiento del flujo de trabajo con identificación por radiofrecuencia (RFID) La identificación por radiofrecuencia (RFID) se realiza mediante identificadores electrónicos que almacenan, envían y reciben datos por frecuencias inalámbricas. Ahora se utilizan en unos cuantos de los hospitales más avanzados para localizar pacientes, personal médico y otros equipos físicos en el interior del hospital. Entre los beneficios del sistema RFID para flujo de pacientes se cuenta un mejor proceso de ingreso de pacientes, y relaciones más estrechas entre un paciente y sus registros médicos. Por ejemplo, los lectores de RFID colocados en las puertas de todo el hospital detectan automáticamente cuando un paciente pasa por ahí. Con esta información, los empleados determinan los cuellos de botella probables y redirigen a los pacientes a otros lugares de tratamiento si el proceso no depende de una secuencia. Así, por ejemplo, en lugar de que un paciente que se va a operar la cadera espere en cardiología para someterse a un cardiograma, se le envía a un examen necesario de rayos X para el cual no hay que esperar en ese momento. Respecto de equipos físicos, la RFID precisa la ubicación de equipos como camillas, máquinas portátiles

de rayos X y sillas de ruedas para llevar a los pacientes cuando sea necesario. Además, saber en dónde está cada equipo ahorra horas que se gastan al final del día para "recoger equipo".

PLANEACIÓN DE CAPACIDAD

La planeación de capacidad implica vincular los recursos de una organización a la demanda actual y la futura. Determinar las necesidades de recursos es una función sobre todo del número de clientes del mercado local del hospital entre la duración de la estadía; esta última se abrevia con tecnologías y administración de procesos, lo cual aumenta el número de pacientes. En servicios médicos, la capacidad se mide en términos de múltiples recursos, como camas, clínicas y salas de tratamientos, disponibilidad de médicos, enfermeras y otros empleados, tecnologías médicas y equipos —como máquinas de rayos X—, de espacio —como vestíbulos y elevadores— y diversos servicios de apoyo —como cafetería y estacionamiento—.

El punto de partida para elaborar un plan de capacidad es la determinación de la capacidad efectiva de un recurso en un momento determinado. Esto se logra al multiplicar la capacidad de diseño (que es la capacidad si el recurso se opera continuamente) por el porcentaje promedio de utilización. La fórmula es

$$\text{Capacidad efectiva} = \text{Capacidad de diseño} \times \text{Utilización}$$

Por ejemplo, si el promedio de utilización es 70% en una máquina de rayos X que puede operar 24 horas diarias, 7 días a la semana, su capacidad efectiva diaria es de 16.8 horas por día (24 horas × 0.7 = 16.8 horas). Debe observarse que 70% de la cifra de utilización corresponde al objetivo común de utilización de 7% para empresas que buscan un nivel de servicio elevado. Los pasos siguientes consisten en 1) pronosticar la demanda de pacientes por hora, ubicación, especialidad, etc.; 2) convertir esta demanda, ajustada por estimaciones de productividad, en necesidades de capacidad; 3) determinar el nivel actual de capacidad en términos de horas de personal, instalaciones y equipo; 4) calcular la brecha entre demanda y capacidad por hora, y 5) elaborar una estrategia para cerrar la brecha. Esto se logra con varios métodos, como transferir capacidad desde otras unidades, aumentar capacidad mediante el pago de tiempo extra, subcontratar con otros hospitales y reducir cuellos de botella.

PROGRAMACIÓN DE LA MANO DE OBRA

Las áreas de importancia primaria en la programación de un hospital son la programación de los turnos de enfermeras y la de los quirófanos. Las enfermeras son el componente más grande de la mano de obra de los hospitales, y los quirófanos (o cámaras de cirugía) son por lo general el centro más grande de generación de ingresos.

Los programas de turnos de enfermeras se clasifican como permanentes (cíclicos) o flexibles (discrecionales). En la *programación cíclica*, el trabajo suele programarse para un periodo de cuatro a seis semanas, conforme al cual se labora en un programa semanal fijo en el periodo (por ejemplo, el convencional fijo de ocho horas diarias, cinco días por semana). Hay varios tipos de *programación flexible*, el más popular de los cuales es la semana flexible, en el que las enfermeras laboran días de ocho horas y promedian 40 horas por semana, pero pueden alternar por ejemplo ocho horas durante cuatro días y ocho horas durante seis días. Los programas cíclicos y flexibles tienen sus ventajas y desventajas, si bien parece que los sistemas flexibles son más favorables porque son más apropiados para manejar fluctuaciones en demanda así como para satisfacer las necesidades de las enfermeras de cambiar de tiempo completo a parcial. En el capítulo 19 se describen varias técnicas de programación de personal.

ADMINISTRACIÓN DE CALIDAD Y MEJORA DE PROCESOS

Desde la época de Florence Nightingale (vea el recuadro), los hospitales buscan formas de lograr buena calidad y mejora de procesos. Los métodos de administración total de calidad han sido elementos básicos durante décadas, y en los últimos años se instituyeron los conceptos de Six Sigma y Lean en muchos hospitales. El personal de hospitales está bien capacitado para el análisis de administración total de calidad porque la atención médica de esta magnitud implica la medición precisa de respuestas de pacientes a medicamentos y procedimientos clínicos.

Florence Nightingale, pionera de la mejora de calidad en hospitales

Mucho antes de Deming, Crosby y otros expertos en calidad industrial, la inglesa Florence Nightingale llevó a cabo una revolución de calidad en hospitales. Durante la guerra de Crimea el público inglés estaba escandalizado por los reportajes de las terribles condiciones de hospitales ingleses, y se envió a Nightingale, fundadora de la profesión moderna de enfermería, a Scutari, Turquía, para mejorarlas. Además de supervisar la selección de enfermeras para los hospitales, también dirigió la labor de mejorar las condiciones sanitarias en ellos. De esencial importancia para su trabajo fue recopilar, tabular, interpretar y presentar gráficamente datos relativos a los cambios del proceso sobre resultados. (A ella se le atribuye la creación de la gráfica de pastel.) Por ejemplo, para cuantificar la sobrepoblación de hospitales, comparó la cantidad de espacio por paciente en hospitales de Londres, 1 600 pies cuadrados, con la de Scutari, 400 pies cuadrados. También creó una forma estadística estándar mediante la cual se conjuntaran datos para análisis y comparación. Los resultados de estas innovaciones fueron sorprendentes: la mortalidad de pacientes disminuyó de 42% en febrero de 1855 a 2.2% en junio de ese año. El método de Nightingale, llamado *medicina basada en evidencias*, es la base de los métodos actuales de prácticas médicas.

Errores de brecha y cuellos de botella Dos problemas de frecuente atención en programas de calidad tienen que ver con errores de brecha y cuellos de botella. Los *errores de brecha* son fallas de información que surgen cuando se transfiere una labor entre personas o grupos. Muchas rutinas profesionales, como procedimientos de traspaso entre turnos de enfermeras y médicos, están pensadas para cerrar brechas. Un estudio reciente del Hospital General de Massachusetts concluyó que los traspasos pueden ser una fuente importante de afectación a pacientes por su relación con las medicaciones.[1] El estudio mostró que mientras 94% de los traspasos se realizaban en persona, más de la mitad de los 161 residentes encuestados informó que raras veces se hacía en una situación privada y en reposo, y más de un tercio informó interrupciones frecuentes. Un método exitoso de manejar traspasos es la técnica de verificación SBAR (por sus siglas en inglés: Situación, Antecedente, Evaluación, Recomendación) para comunicar información acerca de las condiciones de un paciente entre miembros del equipo de atención médica. Adaptada de un programa para dar información breve de submarinos nucleares durante cambios de comando, la SBAR es una herramienta fácil de recordar para enmarcar cualquier conversación que requiera la inmediata atención y acción de un médico.

Tal como se estudia en otras partes de este libro, un *cuello de botella* es la parte del sistema con menor capacidad respecto de la demanda. A menudo, los cuellos de botella resultan de departamentos individuales que optimizan su propia producción, es decir, la cantidad de pacientes o procedimientos por hora, sin considerar los efectos en los departamentos que les anteceden o les preceden. Si se hacen cambios para mejorar partes de un sistema sin resolver la restricción, tal vez los cambios no permitan reducir demoras ni tiempos de espera en el resto del sistema. Para identificar la restricción, el Institute for Healthcare Improvement publicó su manual *Reducing Delays and Waiting Times,* donde recomienda observar en qué lugar se acumula el trabajo o en dónde se forman filas de espera para realizar algunos cálculos sencillos.[2]

[1] Massachusetts General Hospital News Report, "Hospital Residents Report Patient-Handoff Problems Common, Can Lead to Patient Harm", 23 de septiembre de 2008.

[2] T. Nolan *et al., Reducing Delays and Waiting Times Throughout the Healthcare System,* Boston, Institute for Healthcare Improvement, 1996, pp. 36-37.

Por ejemplo, la ilustración 8.4 muestra la capacidad de los cinco procesos en una clínica donde se preparan operaciones en el Beth Israel Deaconess Medical Center, en Boston. (Observe que el cuello de botella es la enfermería.)

El manual brinda sugerencias para eliminar los cuellos de botella. Estas se presentan en la ilustración 8.5.

Calidad de servicio Los hospitales, al igual que otros negocios de contacto con clientes, elevaron el nivel de su servicio para mejorar la satisfacción del paciente. Esto permitió ahorros por la reducción de demandas por negligencia, así como por ausencias y rotación de personal. La filosofía estándar es concentrarse de principio a fin en el cliente. Un ejemplo de esta concentración es el Good Samaritan Hospital, en Los Ángeles. Cuando los pacientes llegan al "Buen Sam" para una cita, en lugar de tomar asiento en una sala de espera se les recibe en un vestíbulo semejante al de un hotel y se les conduce directamente a la unidad del hospital donde se les atenderá. Durante su estadía se hacen todos los esfuerzos para anticipar las comodidades necesarias (por ejemplo, una almohada adicional en el cuarto); y antes de dejar solo a un paciente, todo empleado debe preguntar "¿Hay algo más que podamos hacer por usted?" Además, los pacientes disponen del "Programa de Hospitalidad Alfombra Roja", que ofrece servicios del tipo de conserjería, como ordenar comidas de restaurantes locales y dar información acerca de alojamientos locales y centros deportivos o spas para familias.

ILUSTRACIÓN 8.4 Capacidad clínica preoperatoria en el Beth Israel Deaconess Medical Center.

	Anestesia	Enfermería	Flebotomía	EXG	Rayos X
Proceso total (minutos, incluso trámites)	15	18	8	10	9
Capacidad estimada (cantidad de visitas por día) con descansos, llamadas y almuerzo	48	36	58	42	Disponible
Número de visitas por día (periodo de 4 días)	27-45	23-41	22-41	11-30	7-21
Número promedio de visitas por día (periodo de 4 días)	35	27	29	20	14

ILUSTRACIÓN 8.5 Diagnósticos y soluciones para eliminar cuellos de botella.

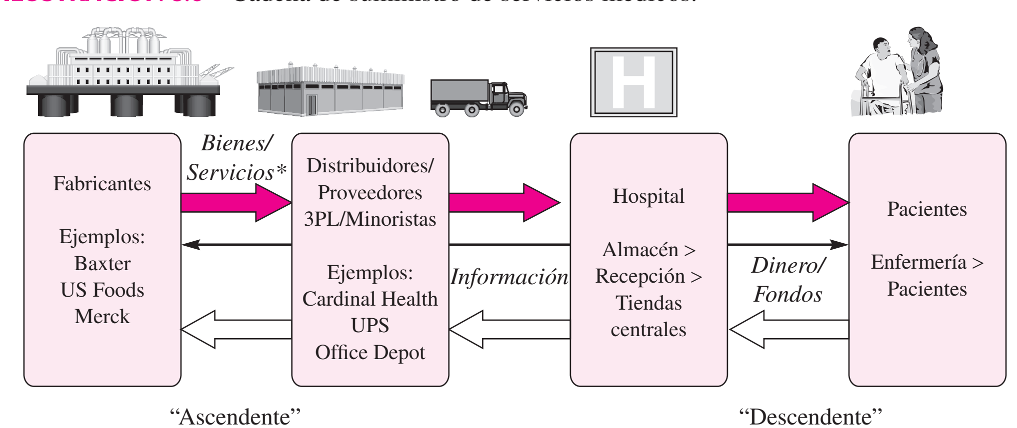
Cómo manejar la restricción	Diagnósticos	Soluciones
Las restricciones no deben tener tiempos muertos	El doctor está en la sala de examen en espera del primer paciente del día mientras se registra	Registrar al paciente después del examen
Si los expertos son la restricción, solo deben hacer el trabajo para el que se necesita un experto	En las pruebas preoperatorias, los pacientes esperan a la enfermera (restricción del proceso)	La recepcionista o asistente ejecuta tareas que efectúa la enfermera pero no requieren conocimientos de enfermería
Poner inspección frente a una restricción	El día de la cirugía, no se dispone de los rayos X clave	Una persona coordina y agiliza toda la información necesaria el día de la cirugía

CADENAS DE SUMINISTRO EN SERVICIOS MÉDICOS

Cadena de suministro

Cadenas de suministro en hospitales La ilustración 8.6 presenta una cadena de suministro en hospitales con el flujo de tres recursos esenciales: información, fondos, y bienes y servicios. Los bienes y servicios transitan desde el fabricante a proveedores de distribuidores/terceros (3PL) y minoristas hasta el almacén del hospital, farmacias centrales y luego a enfermería y pacientes. El dinero o los fondos fluyen en niveles superiores. A diario, la administración de una cadena de suministro de un hospital se concentra en abastecimientos médicos y farmacéuticos. Por tradición, estas actividades operan como unidades organizacionales separadas. Los abastecimientos médicos/quirúrgicos son complejos, y se piden a múltiples vendedores y fabricantes. Para la farmacia, la gran mayoría de medicamentos proviene directamente de los distribuidores; muy pocos, de los fabricantes. Los métodos actuales comprenden la fusión de las dos operaciones de aprovisionamiento dentro de un departamento para reducir el número de vendedores y obtener más transparencia.

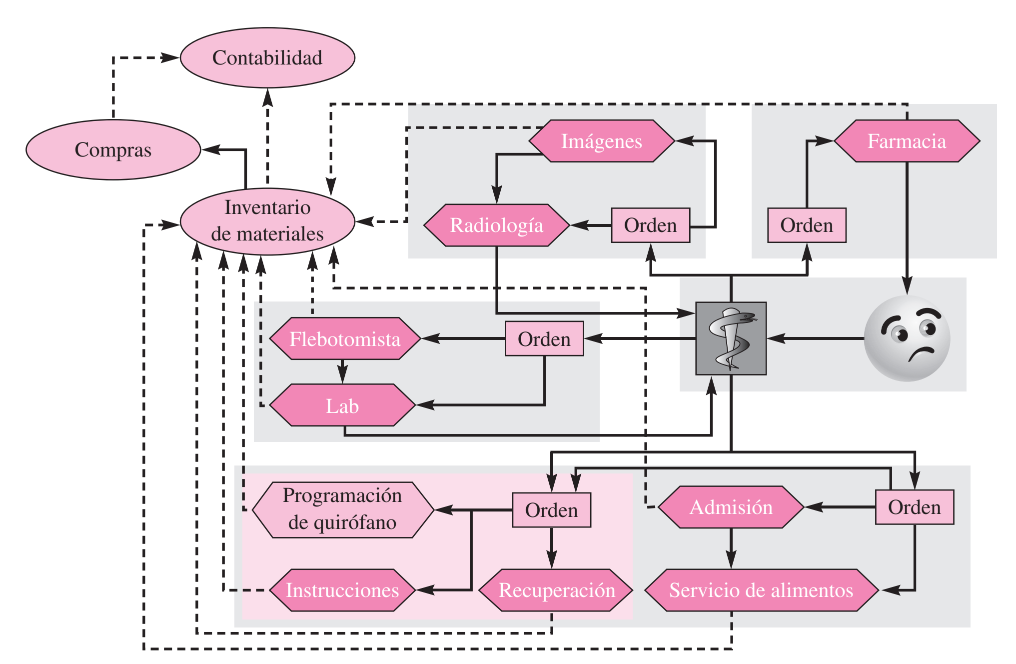
ILUSTRACIÓN 8.6 Cadena de suministro de servicios médicos.



*Los bienes incluyen alimentos, abastecimientos médicos, productos farmacéuticos, blancos, provisiones para laboratorios, equipo y oficinas, y otros suministros.
Fuente: R. Langabeer II, *Health Care Operations Management*, Sudbury, Massachusetts, Jones and Bartlett, 2008, p. 213.

Cadenas de servicio activadas por médicos El uso generalizado de sistemas computarizados de entrada de orden médica (CEOM) para recetas llevó a los expertos a proponer la ampliación de esos sistemas para incluir la programación de todos los recursos que los médicos necesitan para tratar a sus pacientes individuales. Esto se conoce como "administración de eventos", y funciona como sigue: la orden de admisión de un paciente —por ejemplo, para un procedimiento de cirugía— desencadena una serie de eventos de seguimiento que se registran automáticamente en el sistema de información (vea la ilustración 8.7). El sistema de información abre entonces una fecha de admisión y reserva una fecha de quirófano, un equipo de cirujanos (con anestesiólogo y enfermeras), sala de recuperación y pruebas de laboratorio. Estas actividades y procesos también están relacionados. Por ejemplo, una orden de laboratorio emitida electrónicamente para prueba sanguínea se lleva directamente al flebotomista, quien toma y envía la sangre al laboratorio para

ILUSTRACIÓN 8.7 Cadena de suministro en la administración de eventos.



Cadena de suministro

Fuente: Joe F. Schriever, "Supply Chain Fitness", *APICS Magazine*, junio de 2007, p. 34.

Clínica Lahey: las mejoras prácticas en acción

La Clínica Lahey es una agrupación de servicios de salud sin fines de lucro dirigida por médicos, en una zona suburbana de Boston, con más de 500 doctores y 4 600 miembros de personal de apoyo para un hospital de 327 camas y un centro de atención ambulatoria de 24 horas. Al mejorar sus operaciones de cadena de suministro, Lahey primero adoptó un sistema de inventario sin existencias, que esencialmente sustituye al almacén a granel del hospital con inventario propiedad de sus proveedores. En este caso, un proveedor principal, Cardinal Health, ahora maneja el inventario de la clínica y hace arreglos para entregar justo a tiempo los productos clínicos a gabinetes de almacenamiento en unidades y laboratorios del hospital.

Lahey también instaló gabinetes automatizados dispensadores de productos Pyxis para controlar la administración de medicamentos y suministros médicos de manera que automatiza el manejo del inventario y permite rastrear su uso hasta empleados y pacientes. Los empleados acceden al inventario mediante números de identificación de huellas digitales. Luego, el sistema transfiere la información al sistema de facturación del hospital y genera reportes con los cuales se optimiza la medicación y utilización de suministros y el manejo de costos.

Lahey también trabajó estrechamente con Cardinal Health para poner en práctica un método de sistemas de uso en toda la empresa para mejorar la eficiencia de la cadena de suministros y sustituir su método de administración por comités. La clínica creó un nuevo puesto, director de administración de la cadena de suministros, para instrumentar recomendaciones y vigilar un mejor cumplimiento. Este experimentado administrador de cadena de suministro formó un equipo capaz de afinar el sistema de información para administración de materiales, con lo cual se hace un uso más eficiente de la información generada por los gabinetes Pyxis. Esta información se analiza para apreciar mejor lo que impulsa la estructura de costos y permite que el equipo mejore el control de inventarios, reduzca desperdicios y mejore el volumen de trabajo.

Fuente: Mike Duffy, "Is Supply Chain the Cure for Rising Healthcare Costs?", *Supply Chain Management Review*, septiembre de 2009, p. 34.

análisis. Con esta información, los administradores del laboratorio reúnen órdenes. Tras bambalinas se generan transacciones de contabilidad para emitir factura a las compañías de seguros, registrar pagos conjuntos, colocar órdenes de compra por suministros, y así sucesivamente.

ADMINISTRACIÓN DE UN INVENTARIO

El inventario promedio de hospitales medianos es de unos 3.5 millones de dólares. Representa de 5 a 15% de los activos actuales y de 2 a 4% del total de activos; por lo común, el inventario es la necesidad más grande de capital de trabajo. El costo del inventario se relaciona directamente con la mezcla de casos del hospital. Un índice de mezcla de casos se calcula con base en clasificaciones como la de **grupos relacionados con diagnósticos (GRD)**.

Grupos relacionados con diagnósticos (GRD)

En los GRD se clasifica a los pacientes por diagnóstico o procedimiento quirúrgico (a veces por edad), en categorías amplias de diagnóstico (cada uno con enfermedades, dolencias o procedimientos), a partir de la premisa de que los tratamientos de diagnósticos médicos similares generan costos similares. Se crearon unos 500 GRD para Medicare como parte del sistema de pagos propuesto. El profesor de administración de operaciones Robert Fetter, de la Universidad de Yale, ideó los GRD como herramienta de planificación en la década de 1970, y se les considera el cambio más importante en políticas de salud desde la aprobación de Medicare y Medicaid en 1965.

Los sistemas de administración de inventarios en hospitales se clasifican en dos categorías generales: sistemas de "ingresos", sistemas de cantidad de orden fijo y sistemas de tiempo fijo (que se verán en el capítulo 17), y sistemas de "egresos", mediante entregas justo a tiempo (que

se verá en el capítulo 13). La diferencia básica entre las dos categorías es que los sistemas de "ingresos" colocan nuevas órdenes para una cantidad dada en anticipación a una necesidad (sistemas de cantidad de orden fija) o cuentan inventario en periodos dados y colocan órdenes para llevar el inventario en un nivel predeterminado (sistemas de periodo fijo). En cambio, los sistemas de "egresos" tienen mecanismos —llamados señales de egresar— para suministrar el inventario justo a tiempo (JIT) conforme se use. Los sistemas de "ingresos" parecen lógicos cuando un hospital tiene su propio inventario o compra a granel y luego lo desglosa para distribuirlo a unidades de enfermería o piso cuando sea necesario. El sistema justo a tiempo (JIT) es adecuado para artículos de alto costo, como implantes, que suministran los vendedores asociados en un sistema de egresos.

Una distinción importante entre la administración de inventario de servicio médico y la de otros giros es la planificación de existencias de seguridad. El cálculo de una existencia de seguridad se basa en el equilibrio entre el costo de llevar una unidad adicional de inventario y el costo de agotar existencias. En una tienda de departamentos se equilibra con facilidad el costo de tener demasiados pantalones de mezclilla con el costo (o utilidad perdida) de no tenerlos. En los hospitales, esos equilibrios son mucho más difíciles cuando se trata del costo de tener por ejemplo una unidad sanguínea tipo A con el costo de no tenerla. La dificultad de estimar el costo de un desabasto en un hospital es que las consecuencias —como los dolores prolongados de los pacientes o incluso el riesgo de vida o muerte (si bien poco común)— pueden ser un problema. Con artículos de importancia crítica a menudo hay planes de respaldo, como solicitar préstamos de hospitales cercanos en caso de contingencia.

Mediciones de desempeño

La ilustración 8.8 es una lista de indicadores de la Clínica Mayo en su propio sistema de administración y medición de desempeño en el nivel estratégico. Como se aprecia, la mayor parte de los indicadores están ligados a la administración de operaciones.

Tableros de operación La práctica actual es presentar medidas diarias y detalladas de operación en tableros en tres categorías principales: servicio a clientes, operaciones clínicas y procesos clave. Un *tablero de servicio al cliente* contiene información como el porcentaje de pacientes que recomendarían el hospital a otras personas y calificación de aspectos como estacionamiento para vehículos de pacientes internos, cortesía del personal, limpieza, atención del personal, calidad de los alimentos, seguimiento a educación e instrucciones, manejo del dolor, así como satisfacción

ILUSTRACIÓN 8.8 Administración de desempeño y medición de desempeño de la Clínica Mayo.

Categoría de desempeño	Indicador de desempeño
Satisfacción del cliente	Clasificación de atención básica otorgada Clasificación de atención de subespecialidad otorgada
Productividad y eficiencia clínicas	Productividad clínica por médico por día de trabajo Consultas externas por médico por día de trabajo
Financiera	Gasto por unidad de valor relativo (unidad de servicio)
Operaciones internas	Duración general de itinerario promedio de examen, en días Quejas de pacientes por 1 000 pacientes Tiempo de espera/acceso de paciente a citas
Respeto mutuo y diversidad	Porcentaje de personal de grupos con poca representación Encuesta de satisfacción de empleados
Compromiso social	Aportación de la clínica a la sociedad
Evaluación de ambiente externo	Exploración de la cuota de mercado por parte de la junta directiva
Características del paciente	Mezcla de pacientes por grupos de geografía y de pago

Fuente: J. W. Curtright, S. C. Stolp-Smith y E. S. Edell, "Strategic Performance Management: Development of a Performance Measure System at the Mayo Clinic", *Journal of Healthcare Management* 45, enero/febrero de 2000, p. 1.

general. Un *tablero clínico* mide elementos de operación como tasa de mortalidad, mejora de calidad, porcentaje de admisiones repetidas, así como varios indicadores clave de operación en procedimientos específicos. Un *tablero de procesos clave* mostraría, por ejemplo, el porcentaje de transfusiones que presenten reacciones, operación precisa de protocolos de transfusiones, reacciones adversas de medicaciones, gravedad de errores médicos, tasa de autopsias, exposición de empleados a fluidos sanguíneos y corporales, y tiempos de códigos de respuesta.

Tendencias en servicios médicos

Entre las principales tendencias en servicios médicos en relación con la administración de operaciones y cadena de suministro (AOCS) están las siguientes:

Medicina basada en evidencias (MBE). La MBE es la aplicación del método científico en la evaluación de diversos métodos de tratamiento y elaborar guías para situaciones clínicas similares. En esencia, es el desarrollo de métodos estándar para intervenciones terapéuticas.

Atención médica integrada. Elaborado por la Clínica Mayo, este método tiene varias características filosóficas y operacionales, como trabajo en equipo de múltiples especialidades, examen físico con tiempo para escuchar al paciente —la responsabilidad de brindar el tiempo necesario al paciente recae en el médico del hospital, en asociación con el médico local— y registros médicos integrados con servicios de apoyo comunes para todos los pacientes.

Registros médicos electrónicos. Las tecnologías digitales revolucionan la manera de recopilar y almacenar los registros de pacientes. Por ejemplo, médicos y enfermeras del departamento de urgencias del Kaiser Permanente en Oakland cuentan con tabletas computarizadas que tienen acceso a todos los registros médicos de todos los pacientes. Estas tabletas también permiten a médicos y enfermeras solicitar registros de pruebas médicas y de rayos X al lado mismo de la cama del paciente. Tecnologías similares ahora están al alcance de prácticas médicas de menor tamaño con tabletas PC para registros médicos que vende Walmart.

Intercambios de información de salud (IIS). Estos intercambios tienen la capacidad de trasladar electrónicamente datos clínicos en varias clases de sistemas de información sin alterar su significado. Por ejemplo, el Indiana Health Information Exchange (IHIE) permite a los médicos dar seguimiento en tiempo real a los pacientes que se van a someter a exploraciones preventivas, así como seguimiento por enfermedades crónicas.

Diagnóstico asistido por computadora. Este método consta de software de sistemas expertos para efectuar diagnósticos. Supongamos que el médico de un paciente infantil con dolores en articulaciones desea determinar su causa más probable. El sistema experto compara los síntomas con las tablas de criterios por cada tipo de enfermedad y genera conclusiones de diagnóstico con tres grados de certeza: definitivo, probable y posible. Si el diagnóstico que se sugiere es “posible”, el sistema recomienda recopilar más información para excluirlo o incluirlo.

Diagnóstico remoto. Llamado *telemedicina*, mide presión arterial, frecuencia cardiaca, niveles de oxígeno en sangre, etc., con aparatos electrónicos para diagnosticar pacientes que no estén en un hospital. Esto es especialmente valioso en lugares donde se dispone de pocos especialistas para diagnosticar rápido a los pacientes.

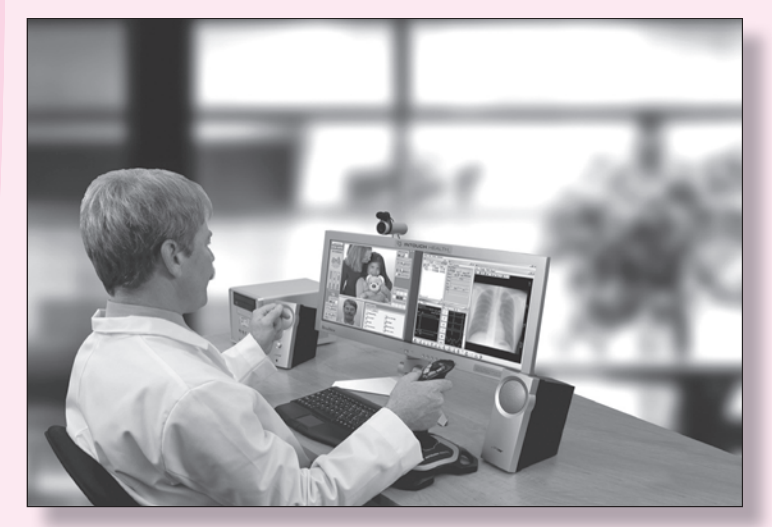
Robots. Hoy en día se usan robots en el quirófano para una amplia variedad de enfermedades, como cáncer de mama y remoción de vesícula biliar. Al usar los robots, los cirujanos se guían con una pequeña cámara para manipular los instrumentos del robot desde una consola. Los beneficios de los robots son que sus “manos” son firmes y tienen gran variedad de movimientos, lo cual provoca menos dolor y menos pérdida de sangre que con cirugía manual. Una interesante aplicación robótica de baja tecnología es el señor Redondo, que se describe en el recuadro.

El señor Redondo está de guardia en el Centro Médico de la Universidad de Hackensack

Un día después de su operación, usted se encuentra en cama y la enfermera le informa que el médico llegará en breve. Buena noticia, pues es justo la persona que usted espera ver pronto. Sin tardanza, entra el médico, un hombre de 1.60 m de estatura y 97 kg de peso, algo que usted no puede creer. No porque el doctor esté ahí como lo prometió, sino porque está dentro de un robot del tamaño de un adulto y de control remoto. ¿Le suena esto a ciencia ficción? No es así.

El sofisticado médico mecánico hizo su debut en el Centro Médico de la Universidad de Hackensack. Como parte de una iniciativa para mejorar la calidad y eficiencia en la atención a pacientes, el centro médico introdujo el RP-6 de InTouch Health de presencia remota, "señor Redondo", apodado así por el personal, como parte de los servicios de que ahora disponen los pacientes. La comunicación entre médico y paciente es ahora posible ya sea que aquél se encuentre fuera de la ciudad o del país. El doctor Garth H. Ballantyne, jefe de cirugía no invasiva del centro médico y profesor de cirugía de la Universidad de Medicina y Odontología de Nueva Jersey (UMDNJ, por sus siglas en inglés), es el primero en hacer un "prueba de manejo" del señor Redondo en el Centro Médico de la Universidad de Hackensack. El doctor Ballantyne es capaz de hacer sus rondines a distancia o desde su oficina, a cualquier hora del día, por conducto de su computadora portátil conectada a internet por una red inalámbrica de banda ancha. El robot tiene una cámara de video bidireccional y 24 sensores infrarrojos para navegar en sus recorridos. La imagen del doctor Ballantyne se ve en el monitor de pantalla plana de la computadora, instalada en la parte superior del robot. La pantalla gira 340 grados y desciende o asciende, lo que crea afecciones mecánicas personalizadas. Ve al paciente y sus alrededores por medio de una cámara de video situada arriba del monitor, lo cual permite una comunicación interactiva en vivo. Desde luego, los pacientes nunca dejan de contar con la supervisión del personal de enfermería, poseedor del premio Magnet del centro médico.

"El robot es sorprendentemente personal. Tiene comunicación virtual y a los pacientes de verdad les gusta. Ha recibido una respuesta entusiasta", sostiene el doctor Ballantyne. "Más que nada, damos atención adicional a pacientes que por lo general no la recibirían. Ahora me conecto y veo a mis pacientes cuando los visitan sus familiares. Desplazar el robot por el cuarto es más cercano que una llamada desde mi oficina". El señor Redondo también tiene acceso a los archivos electrónicos del paciente. "Consulto signos vitales, imágenes de tomografía computarizada, pruebas sanguíneas, muchos de los datos técnicos necesarios para el cuidado del paciente", observa el doctor Ballantyne. Al ver al señor Redondo pasear por los pabellones se tiene la impresión de que ya es un rostro familiar en el Centro Médico de la Universidad de Hackensack cuando el personal pasa por ahí y saluda al doctor Ballantyne como si en realidad estuviera ahí, en persona.



Doctor Garth H. Ballantyne, jefe de cirugía poco invasiva del centro médico y profesor de cirugía de la Universidad de Medicina y Odontología de Nueva Jersey (UMDNJ), hace sus rondines sin salir de su oficina por medio del robot RP-6 del InTouch Health de presencia remota, el señor Redondo. La paciente, Verónica Mathiesson de Clifton, conversa en vivo con el doctor Ballantyne cuando aparece su imagen en la pantalla plana de la computadora.

Fuente: Boletín de prensa del Hackensack University Medical Center, diciembre de 2004, http://www.intouchhealth.com/prhumc.pdf

Resumen

El nivel de refinamiento en los tratamientos clínicos posibilita curaciones consideradas imposibles hace tan solo unos cuantos años. Los conceptos y herramientas de administración de operaciones y cadena de suministro (AOCS) facilitan en gran medida actividades de apoyo clínico como programación, administración de flujo de trabajo y administración de capacidad, pero los expertos coinciden en que falta mucho para mejorar los procesos de los hospitales. Una sugerencia es que los administradores de hospitales creen nuevos puestos acordes con la AOCS, como gerente de control de producción y analista de procesos. El puesto de control de producción es similar al de un contralor de producción en manufacturas, es decir, supervisa el flujo total del proceso y despliega recursos con rapidez para resolver problemas logísticos cotidianos. El puesto de analista de producción ejecuta la función de un experto de operaciones que supervisa los procesos hospitalarios de principio a fin, y recomienda cambios para mejorar el sistema. Un tipo de puesto un poco diferente es el de la conserjería, que se centra en mejorar la estadía del paciente.

Conceptos clave

Administración de operaciones de servicios médicos Diseño, administración y mejora de los sistemas que crean y brindan servicios de salud.

Hospital Instalación cuyo personal ofrece servicios relacionados con la observación, diagnóstico y tratamiento para curar o aminorar el sufrimiento de los pacientes.

Cadena de servicio Flujo de trabajo en un hospital, consistente en servicios a pacientes atendidos por varias funciones y médicos de especialidades, entre diversos departamentos y en su interior.

Puntos de desacoplamiento Etapas del proceso donde tiene lugar una espera, ya sea antes o después de un procedimiento.

Grupos relacionados con diagnósticos (GRD) Unidades homogéneas de actividad en hospitales para planear y asignar costos a cirugías, sobre todo facturas por mano de obra y materiales.

Preguntas de repaso y análisis

1. ¿Dónde colocaría usted al Hospital Shouldice dentro del marco de proceso de productos? (Vea el caso del capítulo 4, “Hospital Shouldice. Un corte superior”.) ¿Cuáles son las implicaciones de agregar una especialidad como cirugía cosmética?
2. Recuerde su última visita a una instalación hospitalaria/centro de salud. ¿Cuántos traspasos experimentó? ¿Cómo calificaría la calidad del servicio con respecto a la experiencia del paciente y de la de amigos y familiares?
3. Se argumenta que, para los hospitales, las escuelas tanto de medicina como de enfermería deben considerarse parte de la cadena de suministro. ¿Está usted de acuerdo?
4. Los hospitales son usuarios principales de aparatos con poka-yokes (a prueba de fallas). ¿Se le ocurre alguno?
5. ¿Un hospital o un médico puede ofrecer una garantía de servicio? Explique.
6. ¿Cómo se diferencia una cadena de suministro activada por médicos respecto de una cadena de suministro normal de materiales?
7. ¿Qué puede aprender un hospital al compararse con un hotel Ritz-Carlton? ¿Con Southwest Airlines? ¿Con Disneylandia?

Caso: Clínica Familiar Venice: Manejo de tiempos de espera de pacientes

La doctora Susan Fleishman es directora médica de la Clínica Familiar Venice en el Sur de California (CFV). Le preocupan los largos tiempos de espera de los pacientes y le gustaría mejorar las operaciones. La situación es la siguiente: se entrevista a los pacientes en la clínica entre 9:00 a.m. y 12:00 p.m., y entre 1:00 y 5:00 p.m. En promedio, se entrevista a 150 pacientes diarios. Hay por lo general nueve médicos en servicio para ver pacientes durante cada sesión clínica. Tiene el apoyo de siete asistentes médicos que toman signos vitales y llevan a los pacientes a las salas para su examen físico. Cuatro empleados registran a los pacientes, los inscriben en programas de ayuda federal y local, preparan sus registros médicos y reciben pagos. Además, hay tres coordinadores que anotan citas de seguimiento y tramitan la derivación de pacientes, un guardia de seguridad, un empleado de farmacia y dos técnicos

de farmacia. El hospital mismo tiene una ventana de seguridad en la puerta de entrada, con entrada controlada por guardias, una sala de espera amplia, cinco ventanillas de registro, 11 salas de examen (en tres de las cuales se toman signos vitales) y cuatro escritorios de coordinadores.

Perspectiva del paciente

Casi todos los pacientes tienen cita (120 diarios), pero 30 más llegan para surtir recetas. Cuando llegan pacientes, primero deben pasar por seguridad. A veces hay una pequeña fila fuera de la puerta, pero llega a extenderse mucho temprano por la mañana. El tiempo promedio de espera es de 10 minutos, y el tiempo promedio de proceso, de dos minutos. El guardia de seguridad está presente de 7:00 a.m. a 6:00 p. m; el de la puerta revisa dos veces la hora de la cita y proporciona al paciente una tarjeta de color, roja o amarilla, con un número. Las tarjetas rojas son para pacientes sin cita que solo necesitan medicamentos. Estos pacientes deben pasar por un registro pero no necesitan ver al proveedor. Después, todos los pacientes avanzan a la sala de espera, donde se les llama por color y número de tarjeta. Con frecuencia esto llega a tardar mucho, pero en promedio implica 24 minutos.

Una vez que un empleado de registro llama a un paciente, se verifica su información. Este proceso tarda de uno a 40 minutos si el paciente es de nuevo ingreso y necesita inscribirse en varios programas. En promedio llegan ocho pacientes nuevos cada día. El tiempo promedio para completar el registro es de siete minutos para pacientes con cita y de 22 minutos para pacientes nuevos, con un tiempo de registro total promedio de ocho minutos. Luego, los pacientes regresan a la sala de espera, donde permanecen otros 15 minutos antes que les llame un asistente médico para tomarles sus signos vitales. Esto tarda seis minutos, después de los cuales regresan de nuevo a la sala de espera y aguardan otros ocho minutos a que les llamen al consultorio de un médico. Una vez en este último lugar, el paciente espera 17 minutos en promedio para que llegue el médico. Los médicos dedican más o menos 20 minutos a cada paciente, pero si necesita procedimientos urgentes de laboratorio o de enfermería, este periodo se alarga. Después de que el paciente ve al doctor, el historial clínico del paciente pasa ya sea a un coordinador o a la farmacia si se va a surtir una receta. En promedio, 50% de los pacientes se dirige a la farmacia después de su consulta. El paciente espera 25 minutos para que le llame un coordinador y le programe más pruebas de laboratorio, lo canalice a otros especialistas y anote citas de seguimiento, lo cual consume otros siete minutos. Los coordinadores ven pacientes de 9:00 a.m. a 5:30 p.m., con una hora para tomar alimentos durante el día. Si el paciente solo necesita una receta, la espera es de 13 minutos para que la farmacia procese la receta y un promedio de 11 minutos para recibir los medicamentos. Cada técnico de la farmacia trabaja independientemente y entrega las medicinas de la receta después de consultar al farmacéutico. La farmacia está abierta de 9:00 a.m. a 5:30 p.m., con almuerzo de 12:00 a 1:00 p.m.

En general, la satisfacción del paciente con la calidad de servicios médicos en la CFV permanece alta, pero todavía hay quejas todos los días por los tiempos de espera en estos servicios. Los tiempos de espera son críticos para estos pacientes, pues con frecuencia provocan pérdidas monetarias por su extensión.

Perspectiva del médico

Cada médico de la clínica trabaja en un equipo A, B o C. Estos grupos de dos o tres médicos ven al mismo paciente, lo que contribuye a garantizar continuidad para los pacientes. Por tanto, cada paciente ve a uno de los médicos del equipo en cualquier visita determinada y tiene una alta probabilidad de ver al mismo médico cada vez.

Todos los días se asigna un equipo específico a un grupo de salas de examen. Los pacientes de esas salas ven a médicos solo de ese equipo. Los médicos llegan a las 9:00 a.m. y esperan a sus primeros pacientes. Con frecuencia, por el retraso en el registro y la espera de salas abiertas para que los asistentes médicos tomen signos vitales, los pacientes llegan a las salas de examen hasta bien pasadas las 9:30. Además, por el sistema de equipos, un médico puede tener tres pacientes en fila mientras que otro todavía aguarda que se anote en el registro su primer paciente. El escritorio de registro no tiene comunicación con el área de médicos; en consecuencia, los empleados pueden registrar tres pacientes consecutivos para un equipo pero ninguno para otro. Además, se asigna a los pacientes nuevos a los equipos al azar, sin considerar quién está más ocupado ese día. Una vez que el paciente está en una sala de espera, se coloca su historial clínico en un gancho para que el médico lo revise antes de ver al paciente. Si faltan resultados clave de laboratorio o de rayos X, el médico debe pedir registros médicos o llamar a instalaciones externas y esperar a que le envíen los resultados por fax o que le llamen antes de ver al paciente. Esto ocurre 60 o 70% del tiempo, lo que provoca una demora de 10 minutos por paciente. Estos problemas suelen generar un uso ineficiente del tiempo del médico.

Después de ver un paciente, el médico envía al paciente a la sala de espera para ver al coordinador o para más procedimientos de prueba o de enfermería. Pocas veces, si no se necesitan recetas ni seguimientos, el paciente queda libre para salir de la clínica. Los médicos de la CFV en general son muy comprometidos con la misión de la clínica, pero les frustran los largos tiempos de espera de sus pacientes, los registros médicos incompletos y el desorganizado flujo de pacientes por la clínica.

Perspectiva de la administración

Al inicio de cada día, cuatro empleados de registro se preparan para imprimir copias de las citas programadas. Los historiales clínicos de pacientes con citas se toman la noche anterior y se colocan al alcance de los empleados. Los cuatro empleados trabajan de 8:30 a 11:00 a.m. y cierran las ventanillas de registro a las 12:30 p.m. Durante este tiempo, además de tomar alimentos, los empleados retiran los historiales para la clínica de la tarde y terminan el papeleo. A las 12:30 se abren de nuevo las ventanillas de registro para la clínica de la tarde y se admite a los pacientes hasta las 4:00 p.m.

Preguntas

1. Trace un diagrama de flujo de procesos por cada tipo de paciente.
2. Calcule la capacidad y utilización de cada recurso e identifique cuellos de botella.
3. Calcule el tiempo promedio de espera y de servicio para pacientes de nuevo ingreso y con cita, y para quienes regresan para surtir sus recetas.
4. ¿Cuáles son sus recomendaciones para mejorar todo esto?

Fuente: Condensado de Kumar Rajaram y Karen Conner, “Venice Family Clinic, Managing Wait Times”, caso de estudio, Anderson School of Management, UCLA, 2008.

Cuestionario

1. Un hospital consta de tres servicios básicos.
2. La ubicación del hospital más grande del mundo.
3. El tipo más complejo de instalación de atención médica.
4. El tipo de programa conforme al cual se trabaja en horario fijo cada semana durante un periodo de cuatro a seis semanas.
5. Pionera de la calidad en hospitales a quien se atribuye ser creadora de la gráfica de pastel.
6. Término que designa errores de información en traspasos.
7. Técnica de verificación ideada por tripulantes de submarinos y que ahora se usa en hospitales.
8. Esquema de índice de clasificación de mezcla de casos, de amplio uso.
9. Creación de métodos estándar para intervenciones terapéuticas mediante el método científico.
10. Las dos categorías generales de sistemas de administración de inventario en hospitales.
11. Apodo del RP-6 de InTouch Health de presencia remota.
12. Etapa en el proceso de atención médica donde tiene lugar la espera.

1. Observación, diagnóstico y tratamiento 2. Johannesburgo, Sudáfrica 3. Hospital general/sala de urgencias 4. Programa cíclico 5. Florence Nightingale 6. Error de brecha 7. SBAR (por las siglas en inglés de situación, antecedente, evaluación y recomendación) 8. Grupos relacionados por diagnóstico 9. Medicina basada en evidencias 10. Sistemas de "ingresos" y sistemas de "egresos" 11. Señor Redondo 12. Punto de desacoplamiento

Bibliografía seleccionada

Langabeer, J. R., II, *Health Care Operations Management*, Sudbury, Massachusetts, Jones and Bartlett, 2008.

McLaughlin, D. B. y J. M. Hays, *Health Care Operations Management,* Chicago, Health Administration Press; Washington, D.C., AUPHA Press, 2008.

Ozcan, Y. A., *Quantitative Methods in Health Care Management: Techniques and Applications,* San Francisco, Jossey-Bass, 2005.

Vissers, J. y R. Beech, *Health Operations Management,* Londres, Routledge, 2005.

Capítulo 9

CALIDAD SIX-SIGMA

General Electric (GE) ha sido promotor importante de Six-Sigma durante más de 10 años. Jack Welch, el legendario y ahora retirado CEO, declaró que "el gran mito es que Six-Sigma se refiere al control de calidad y las estadísticas. Es mucho más que eso. En última instancia, permite un mejor liderazgo porque proporciona herramientas para analizar los temas difíciles. En su esencia, Six-Sigma es una idea que puede cambiar a una empresa de adentro hacia afuera, al enfocar a la organización en el cliente". El compromiso de calidad de GE se centra en Six-Sigma. En el sitio de internet de GE se define Six-Sigma de la siguiente manera:

Primero: ¿Qué es Six-Sigma? Antes que nada veamos lo que no es. No se trata de una sociedad secreta, lema ni cliché. Six-Sigma es un proceso muy disciplinado que ayuda a centrarse en el desarrollo y entrega de productos y servicios casi perfectos. ¿Por qué "Sigma"? La palabra es un término estadístico que mide cuánto se desvía un proceso de la perfección. La idea central de Six-Sigma es que si se mide cuántos "defectos" hay en un proceso, se sabe en forma sistemática cómo eliminarlos y cómo acercarse lo más posible a la marca de "cero defectos". Para lograr la calidad Six-Sigma, un proceso no debe producir más de 3.4 defectos por millón de oportunidades. Una "oportunidad" se define como una probabilidad de no conformidad o de no cumplir con las especificaciones requeridas. Lo anterior significa que casi no se deben tener errores en la ejecución de los principales procesos.

Después de leer este capítulo, usted:

1. Entenderá la administración de calidad total.
2. Describirá cómo se mide la calidad y conocerá las diferentes dimensiones de calidad.
3. Explicará el proceso de definir, medir, analizar, mejorar y controlar la mejora de calidad (DMAIC).
4. Entenderá lo que significa una certificación ISO.

En lo fundamental, Six-Sigma gira en torno a unos cuantos conceptos básicos.

Crítico para la calidad:	Los atributos más importantes para el cliente
Defecto:	No cumplir con lo que quiere el cliente
Capacidad del proceso:	Lo que produce el proceso
Variación:	Lo que el cliente percibe y considera

Operaciones estables:	Garantizar procesos congruentes y predecibles para mejorar lo que percibe y considera el cliente
Diseño para Six-Sigma:	Diseño para cumplir con las necesidades del cliente y la capacidad del proceso

En este capítulo se repasa el tema general de la administración de la calidad total y el movimiento de la calidad. Después se presentan las características y conceptos básicos del planteamiento de Six-Sigma para la ACT. Luego se describe el sistema Shingo, que tiene un enfoque único para la calidad al centrarse en la prevención de errores. A continuación se repasan las normas para certificación de calidad ISO 9000 y 14000 que usan muchas empresas en el mundo. Por último, se proporcionan los principales pasos del análisis de indicadores de referencia externos para mejorar la calidad.

Administración de la calidad total

Administración de la calidad total

La **administración de la calidad total** se puede definir como "la administración de toda la organización de modo que sobresalga en todas las dimensiones de productos y servicios importantes para el cliente". Tiene dos objetivos operacionales fundamentales:

1. Diseño cuidadoso del producto o servicio.
2. Garantizar que los sistemas de la organización produzcan consistentemente el diseño.

Global

Estos dos objetivos solo se logran si toda la empresa se orienta a ellos, de ahí el término de administración de calidad *total*. En la década de 1980, la ACT devino en preocupación nacional para Estados Unidos sobre todo en respuesta a la superior calidad japonesa en la fabricación automotriz y otros bienes perdurables, como equipos domésticos de aire acondicionado. Un

INNOVACIÓN

Innovación

PREMIO NACIONAL A LA CALIDAD MALCOLM BALDRIGE

El premio se otorga a las empresas que demuestran una calidad sobresaliente en sus productos y procesos. Se pueden otorgar tres premios al año en cada una de las siguientes categorías: manufactura, servicio, pequeña empresa, educación, atención médica y no lucrativa.

Los aspirantes al premio deben enviar una petición de hasta 50 páginas que detalle los procesos y resultados de sus actividades en siete categorías importantes: liderazgo; planeación estratégica; enfoque en el cliente y el mercado; administración de mediciones, análisis y conocimientos; enfoque en la mano de obra; gestión de procesos, y resultados. La Junta de examinadores y jueces de Baldrige califica las solicitudes sobre un total de 1 000 puntos. Se elige a las solicitudes con puntuación alta para visitas *in situ*, y de este grupo se selecciona a los que reciben el premio. Por lo general, el presidente de Estados Unidos presenta los premios durante una ceremonia especial en Washington, D.C. Un beneficio importante para los solicitantes es el informe de retroalimentación que preparan los examinadores con base en sus procesos y prácticas. Muchos estados aplican los criterios Baldrige como base para sus programas de calidad. Un informe del Consejo privado de Competitividad, *Building on Baldrige: American Quality for the 21st Century*, indica: "Más que cualquier otro programa, el Premio a la Calidad Baldrige tiene la responsabilidad de hacer de la calidad una prioridad nacional y difundir las mejores prácticas por todo Estados Unidos".

estudio muy citado de fabricantes de estos equipos de Japón y Estados Unidos demostró que los productos estadounidenses de mejor calidad tenían tasas de defectos promedio *superiores* a las de los fabricantes japoneses más deficientes.[1] Era tan severa la desventaja de calidad en Estados Unidos que la prioridad nacional fue mejorar la calidad de toda la industria, y el Departamento de Comercio estableció en 1987 el **Premio Nacional a la Calidad Malcolm Baldrige** para contribuir a que las empresas revisaran y reestructuraran sus programas de calidad. En esa época también adquirió importancia el requisito de que los proveedores demostraran que medían y documentaban sus prácticas de calidad de conformidad con criterios específicos, llamados estándares ISO, si querían competir por contratos internacionales. Más adelante se retomará el tema.

Premio Nacional a la Calidad Malcolm Baldrige

Los líderes filosóficos del movimiento de calidad, sobre todo Philip Crosby, W. Edwards Deming y Joseph M. Juran, los llamados gurús de la calidad, definieron la calidad y cómo obtenerla de manera un poco diferente (vea la ilustración 9.1), aunque todos transmiten el mismo mensaje: para lograr una calidad sobresaliente se requiere liderazgo de buena calidad de la alta dirección, enfoque en el cliente, participación total de la mano de obra y mejora continua basada en un análisis riguroso de los procesos. Más adelante en el capítulo se analizará cómo aplicar estos preceptos en el planteamiento más reciente de ACT: Six-Sigma. Por ahora, se estudian algunos conceptos fundamentales implícitos en todo esfuerzo de calidad: especificaciones de calidad y costos de calidad.

ILUSTRACIÓN 9.1 Comparación de los gurús de calidad.

	Crosby	Deming	Juran
Definición de calidad	Conformidad con los requisitos	Grado predecible de uniformidad y dependencia con costos bajos y adecuados para el mercado	Idoneidad de uso (satisface las necesidades del cliente)
Grado de responsabilidad de la alta dirección	Responsable de la calidad	Responsable de 94% de los problemas de calidad	Menos de 20% de los problemas de calidad se debe a los trabajadores
Estándar de desempeño/ motivación	Cero defectos	La calidad tiene muchas “escalas”; el desempeño de todas las áreas se mide con estadísticas; crítico de cero defectos	Evitar campañas para hacer un trabajo perfecto
Planteamiento general	Prevención, no inspección	Reducir la variabilidad mediante la mejora continua; suspensión de la inspección en masa	Planteamiento general de administración de calidad; en especial los elementos humanos
Estructura	14 pasos para mejorar la calidad	14 puntos para la administración	10 pasos para la mejora de la calidad
Control estadístico del proceso (CEP)	Niveles de calidad de rechazos estadísticamente aceptables (se desea 100% de calidad perfecta)	Se deben usar métodos estadísticos de control de calidad	Recomienda el CEP pero advierte que puede generar un planteamiento basado en herramientas
Base para la mejora	Un proceso, no un programa; metas de mejoras	Continuidad para reducir la variación; eliminar metas sin métodos	Planteamiento de equipo por proyecto; establecer metas
Trabajo en equipo	Equipos de mejoramiento de calidad; consejos de calidad	Participación de los empleados en las decisiones; derribar barreras entre departamentos	Planteamiento de equipo y círculo de calidad
Costos de la calidad	Costo de no conformidad; la calidad es gratis	Menos que óptimo; mejora continua	La calidad no es gratis, no hay un punto mejor
Compras y bienes recibidos	Requisitos estatales; el proveedor es la extensión de la empresa; la mayoría de las fallas se debe a los compradores mismos	Inspección demasiado tardía; el muestreo permite que los defectos entren en el sistema; se requiere evidencia estadística y gráficas de control	Los problemas son complejos; se realizan encuestas formales
Calificación del vendedor	Sí; las auditorías de calidad son inútiles	No, es crítico de la mayoría de los sistemas	Sí, pero se debe ayudar a que el proveedor mejore

[1] D. A. Garvin, *Managing Quality,* Nueva York, Free Press, 1988.

Especificación y costos de la calidad

Para todo programa de calidad es fundamental determinar las especificaciones y costos de calidad para lograr (o *no*) dichas especificaciones.

Desarrollo de especificaciones de calidad

Calidad del diseño

Las especificaciones de calidad de un producto o servicio provienen de las decisiones y acciones tomadas en relación con la calidad de su diseño y conformidad con ese diseño. La **calidad del diseño** se refiere al valor inherente del producto en el mercado, y es por ende una decisión estratégica para la empresa. Las dimensiones de calidad se presentan en la ilustración 9.2. Estas dimensiones se refieren a las características del producto o servicio relacionadas directamente con los aspectos de diseño. Una empresa diseña un producto o servicio para satisfacer la necesidad de un mercado en particular.

Una empresa diseña un producto o servicio con ciertas características de desempeño basadas en lo que espera el mercado de intención. Los materiales y atributos de los procesos de manufactura influyen en gran medida en la confiabilidad y durabilidad de un producto. En este caso, la compañía pretende diseñar un producto o servicio que se fabrique o venda con un costo razonable. La capacidad de servicio del producto puede tener un fuerte impacto en el costo del producto o servicio al cliente una vez realizada la compra. De igual forma, a la empresa le puede afectar la garantía y el costo de reparación. La estética puede tener una enorme influencia en el deseo de adquirir un producto o servicio, en particular en productos al consumidor. Sobre todo cuando está implicado el nombre de una marca, el diseño con frecuencia representa la siguiente generación de un flujo constante de productos o servicios. Por ejemplo, la regularidad en el desempeño relativo del producto en comparación con la tecnología de punta puede ser una gran influencia en la forma de percibir la calidad del producto. Lo anterior llega a ser muy importante para el éxito de largo plazo del producto o servicio.

Conformidad con la calidad

La **conformidad con la calidad** se refiere al grado en el que se cumplen las especificaciones del producto o servicio. Las actividades referentes a lograr la conformidad son de naturaleza táctica y diaria. Debe quedar claro que un producto o servicio puede tener una alta calidad de diseño pero una baja conformidad con la calidad y viceversa.

Calidad en el origen

La **calidad en el origen** con frecuencia se analiza en el contexto de la conformidad con la calidad. Lo anterior significa que quien efectúa el trabajo tiene la responsabilidad de asegurarse de que se cumplan las especificaciones. Si se trata de un producto, por lo general es responsabilidad de la gerencia de manufactura cumplir con las especificaciones de calidad; en el caso de una empresa de servicios, la responsabilidad suele recaer en la gerencia de operaciones de la sucursal. En la ilustración 9.3 se presentan dos ejemplos de las **dimensiones de la calidad**. Uno es una impresora láser que cumple con los estándares de páginas por minuto y densidad de impresión; el segundo es la transacción de una cuenta de cheques en un banco.

Dimensiones de la calidad

Tanto la calidad del diseño como la conformidad con la calidad deben ofrecer productos que cumplan con los objetivos del cliente de esos productos. A menudo se emplea el término *idoneidad de uso* del producto, y pretende identificar las dimensiones del producto (o servicio) que el cliente quiere (es decir, la voz del cliente) y generar un programa de control de calidad que garantice el cumplimiento de dichas dimensiones.

ILUSTRACIÓN 9.2 Dimensiones de calidad del diseño.

Dimensión	Significado
Desempeño	Características principales del producto o servicio
Características	Detalles, adornos adicionales, características secundarias
Confiabilidad/durabilidad	Regularidad del desempeño a través del tiempo, probabilidad de falla, vida útil
Capacidad de servicio	Facilidad de reparación
Estética	Características sensoriales (sonido, tacto, apariencia, etcétera)
Calidad percibida	Desempeño anterior y reputación

ILUSTRACIÓN 9.3 Ejemplos de dimensiones de calidad.

Dimensión	Medidas: Ejemplo de producto: impresora láser	Medidas: Ejemplo de servicio: cuenta de cheques en un banco
Desempeño	Páginas por minuto Densidad de impresión	Tiempo para procesar las solicitudes del cliente
Características	Múltiples bandejas de papel Capacidad de color	Pago automático de cuentas
Confiabilidad/ durabilidad	Tiempo promedio entre fallas Tiempo estimado de obsolescencia Vida esperada de los componentes principales	Variabilidad del tiempo para procesar las solicitudes Mantener el ritmo de las tendencias de la industria
Capacidad de servicio	Disponibilidad de centros de servicio autorizados Cantidad de copias por cartucho de impresión Diseño modular	Informes en línea Facilidad para obtener información actualizada
Estética	Disposición del botón de control Estilo de la caja Amabilidad del distribuidor	Aspecto de la sucursal bancaria Amabilidad del cajero
Calidad percibida	Identificación del nombre de la marca Calificación en *Consumer Reports*	Respaldado por líderes de la comunidad

Costo de la calidad

Si bien pocas personas discrepan sobre la noción de prevención, la gerencia a menudo necesita cifras sólidas para determinar el costo de las actividades de prevención. Joseph Juran identifica este aspecto en *Manual de control de calidad* que escribió en 1951. Hoy en día, los análisis del **costo de la calidad** (CC) son comunes en la industria y constituyen una de las principales funciones del departamento de control de calidad.

Costo de la calidad

Existen muchas definiciones e interpretaciones del término *costo de la calidad*. Desde un punto de vista purista, significa todos los costos atribuibles a la producción de calidad que no es 100% perfecta. Una definición menos estricta solo considera los costos que son la diferencia entre lo que se espera de un desempeño excelente y los costos actuales.

¿Cuán importante es el costo de la calidad? Se estima entre 15 y 20% de cada dólar de venta, es decir, el costo del retrabajo, desperdicio, servicio repetido, inspecciones, pruebas, garantías y otros elementos relacionados con la calidad. Philip Crosby establece que el costo correcto de un programa de gestión de calidad bien dirigido debe ser inferior a 2.5%.[2]

Tres suposiciones básicas justifican un análisis de los costos de la calidad: 1) las fallas tienen una causa, 2) la prevención es más barata y 3) el desempeño es mensurable.

Por lo general, los costos de la calidad se clasifican en cuatro tipos:

1. **Costos de evaluación.** Costos de inspección, pruebas y demás actividades que garantizan que el producto o proceso sea aceptable.
2. **Costos de prevención.** La suma de todos los costos para prevenir defectos, como los costos de identificar la causa del defecto, poner en práctica la medida correctiva para eliminar la causa, capacitar al personal, rediseñar el producto o sistema y comprar equipo nuevo o realizar modificaciones.

Un trabajador de Goodyear inspecciona un neumático radial en la fábrica de Sao Paulo, Brasil. Goodyear practica inspecciones visuales e internas de los neumáticos; incluso saca algunos de la línea de montaje para inspeccionarlos con rayos X.

[2] P. B. Crosby, *Quality Is Free,* Nueva York, New American Library, 1979, p. 15.

3. **Costos de falla interna.** Costos por defectos en los que se incurrió dentro del sistema: desperdicio, retrabajo, reparación.
4. **Costos de falla externa.** Costos por defectos que pasan por el sistema: reemplazos por garantía al cliente, pérdida de los clientes o de su preferencia, manejo de quejas y reparación del producto.

En la ilustración 9.4 se muestra el tipo de informe que puede presentarse con los diversos costos por categorías. La prevención es la de mayor influencia. Una regla básica indica que por cada dólar que se gaste en la prevención, se ahorran hasta 10 dólares en costos de falla y evaluación.

Servicio

A menudo, el incremento en la productividad es consecuencia de los esfuerzos por reducir el costo de la calidad. Por ejemplo, un banco decidió mejorar la calidad y reducir el costo de la calidad, y descubrió que también impulsó la productividad. El banco estableció esta medida de productividad para el área de procesamiento de préstamos: cantidad de boletas procesadas entre los recursos requeridos (costo de mano de obra, tiempo de computadora, formatos). Antes del programa de mejora de calidad, el índice de productividad era de 0.2660 [2 080/($11.23 × 640 horas + $0.05 × 2 600 formatos + $500 por costos de sistemas)]. Después de terminar el proyecto de mejora de calidad, el tiempo de mano de obra bajó a 546 horas y la cantidad de formatos subió a 2 100, reflejado en un cambio en el índice a 0.3088, un incremento de productividad de 16%.

FUNCIONES DEL DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD

Si bien este capítulo se centra en los programas de calidad corporativa, conviene comentar las funciones de los departamentos de control de calidad.

El departamento habitual de control de calidad de manufactura tiene que realizar varias funciones, como probar la confiabilidad de los diseños en laboratorio y en campo, recopilar datos

ILUSTRACIÓN 9.4
Informe de costos de calidad.

	Costos del mes en curso	Porcentaje del total
Costos de prevención		
Capacitación de calidad	$ 2 000	1.3%
Asesoría en confiabilidad	10 000	6.5
Corridas piloto de producción	5 000	3.3
Desarrollo de sistemas	8 000	5.2
Total de prevención	25 000	16.3
Costos de evaluación		
Inspección de materiales	6 000	3.9
Inspección de suministros	3 000	2.0
Pruebas de confiabilidad	5 000	3.3
Pruebas de laboratorio	25 000	16.3
Total de evaluación	39 000	25.5
Costos de falla interna		
Desperdicio	15 000	9.8
Reparación	18 000	11.8
Retrabajo	12 000	7.8
Tiempo muerto	6 000	3.9
Total de falla interna	51 000	33.3
Costos de falla externa		
Costos de garantía	14 000	9.2
Reparaciones y reemplazos fuera de garantía	6 000	3.9
Quejas del cliente	3 000	2.0
Responsabilidad del producto	10 000	6.5
Pérdidas por transporte	5 000	3.3
Total de falla externa	38 000	24.9
Total de costos de calidad	$153 000	100.0

Estudio de calidad inicial de autos nuevos realizado por J. D. Power and Associates

El Estudio de Calidad Inicial de J. D. Power and Associates[SM] sirve como referencia en la industria automotriz para la calidad de vehículos nuevos, que se mide a los 90 días de adquiridos. En todo el mundo, los fabricantes recurren extensamente a este estudio como ayuda en el diseño y construcción de vehículos de mejor calidad, y los consumidores, como referencia en sus decisiones de compra. Con los años se ha demostrado que la calidad inicial pronostica de manera adecuada la durabilidad de largo plazo, lo cual tiene un efecto significativo en las decisiones de compra del consumidor. El estudio agrupa los problemas de los propietarios en dos categorías: 1) problemas de diseño y 2) defectos y mal funcionamiento.

1. Exterior
  a) Problemas de diseño: puertas del frente o corredizas con manijas difíciles de operar.
  b) Defectos/mal funcionamiento: puertas del frente o corredizas difíciles de abrir o cerrar, excesivo ruido del viento o imperfecciones en la pintura, como desconchado o raspones al momento de entregar la unidad.

2. Manejo
  a) Problemas de diseño: demasiado juego o piezas sueltas en el sistema de dirección, excesivo polvo en frenos o pedales demasiado juntos.
  b) Defectos/mal funcionamiento: frenos que jalan demasiado, son ruidosos o despiden mucho polvo.

3. Características/controles/indicadores
  a) Problemas de diseño: fallas con el sistema de entrada de control remoto, chapas de puertas o sistemas de control de viaje difíciles de usar. Controles ubicados en sitios inadecuados.
  b) Defectos/mal funcionamiento: problemas con el sistema de entrada de control remoto, chapas de puertas o sistemas de control de viaje que no funcionan bien.

4. Audio/entretenimiento/navegación
  a) Problemas de diseño: sistemas de audio y entretenimiento con controles difíciles de usar o ubicados en sitios inadecuados, o sistemas de comunicación de manos libres que no reconocen comandos.
  b) Defectos/mal funcionamiento: reproductores de CD con problemas de carga o radios AM/FM con mala recepción o ninguna.

5. Asientos
  a) Problemas de diseño: ajustes de avance/retroceso de asientos o controles de memoria de asientos difíciles de entender o usar.
  b) Defectos/mal funcionamiento: ajustes de avance/retroceso de asientos o controles de memoria de asientos rotos o que no funcionan bien.

5. Calefacción, ventilación y aire acondicionado
  a) Problemas de diseño: calefactor que no se calienta con suficiente rapidez o ventanillas que se empañan con demasiada frecuencia.
  b) Defectos/mal funcionamiento: ventilador/soplador con ruido excesivo o ventilas que emiten aire con olor a moho o viciado.

6. Interior
  a) Problemas de diseño: guantera o consola difícil de usar.
  b) Defectos/mal funcionamiento: luces del panel de instrumentos o tablero que no funcionan, o guantera o consola de centro rota o dañada.

7. Motor/transmisión
  a) Problemas de diseño: motor que pierde potencia cuando se encienda el aire acondicionado o transmisión manual difícil de operar.
  b) Defectos/mal funcionamiento: motor que funciona y luego se para, o transmisión automática que cambia en momentos inoportunos.

Fuente: Comunicación directa con J. D Power and Associates.

sobre el rendimiento de los productos en el campo y resolver problemas de calidad; planear y presupuestar el programa de control de calidad de la planta, y, por último, diseñar y supervisar los sistemas de control de calidad y procedimientos de inspección, además de inspeccionar las actividades que requieren conocimientos técnicos especiales. Las herramientas del departamento de control de calidad se agrupan en la categoría de control estadístico de la calidad (CEC), y constan de dos secciones principales: muestreo para aceptación y control de procesos. En el capítulo 9A se tratarán estos temas.

Calidad Six-Sigma

Six-Sigma

Six-Sigma se refiere a la filosofía y métodos de empresas como General Electric y Motorola para eliminar defectos en productos y procesos. Un defecto es simplemente cualquier componente que no cumple las especificaciones de los clientes. Cada paso o actividad de una empresa representa una posibilidad de que ocurran defectos, y los programas de Six-Sigma pretenden reducir la variabilidad de los procesos que generan estos efectos. De hecho, Six-Sigma propone considerar las variaciones como enemigas de la calidad, y gran parte de la teoría de Six-Sigma se dedica a este problema. Un proceso en control de Six-Sigma no produce más de dos defectos por mil millones de unidades. Muchas veces se indica como cuatro defectos por millón de unidades, que es cierto si el proceso transcurre a menos de un sigma de la especificación deseada.

DPMO

Un beneficio del pensamiento de Six-Sigma es que los gerentes describen con facilidad el desempeño de un proceso en términos de variabilidad y comparan varios procesos usando una medida común. Esta medida es **defectos por millón de oportunidades (DPMO)**. El cálculo requiere tres datos:

1. **Unidad.** El artículo producido o el servicio prestado.
2. **Defecto.** Cualquier artículo o suceso que no cumpla con los requisitos del cliente.
3. **Oportunidad.** Posibilidad de que ocurra un defecto.

Un cálculo sencillo se obtiene con la siguiente fórmula:

$$\text{DPMO} = \frac{\text{cantidad de defectos}}{\text{cantidad de oportunidades de error por unidad} \times \text{número de unidades}} \times 1\,000\,000$$

Servicio

Paso por paso

EJEMPLO 9.1

Los clientes de un banco hipotecario esperan que sus solicitudes de hipotecas se procesen a los 10 días de presentadas. En términos de Six-Sigma, esto es un *requisito crítico de los clientes* (CCR: *critical customer requirement*). Si se contaran todos los defectos (préstamos de una muestra mensual que tardan más de 10 días en tramitarse) y se determinara que 150 préstamos de 1 000 solicitudes procesadas el mes anterior no cumplen el requisito de los clientes, entonces los DPMO = 150/1 000 × 1 000 000, o 150 000 préstamos de cada millón procesados no cumplen un CCR. Dicho de otra manera, significa que solo 850 000 préstamos de cada millón se aprueban en el tiempo esperado. Estadísticamente, 15% de los préstamos son defectuosos y 85% están correctos. Se trata de un caso en el que todos los préstamos procesados en menos de 10 días cumplen los criterios. Muchas veces hay requisitos superiores e inferiores de los clientes, y no solo un requisito superior, como se hizo aquí. ●

Los programas de Six-Sigma tienen dos aspectos: el metodológico y el de la gente. Aquí se verán en ese orden.

Metodología Six-Sigma

DMAIC
Ciclo PDCA
Mejora continua
Kaizen

Si bien los métodos de Six-Sigma incluyen muchas herramientas estadísticas propias de otros movimientos por la calidad, aquí se aplican de manera sistemática y enfocadas a proyectos mediante el ciclo de definir, medir, analizar, mejorar y controlar (**DMAIC**). El ciclo DMAIC es una versión más detallada del **ciclo PDCA** de Deming, que consta de cuatro pasos: planear, desarrollar, comprobar y actuar, pilares de la **mejora continua** (también conocida como **kaizen**, pretende mejorar constantemente maquinaria, materiales, utilización de mano de obra y métodos de producción mediante la aplicación de sugerencias e ideas de los equipos de la empresa). Como Six-Sigma, también subraya el método científico, en particular la comprobación de hipótesis sobre la relación entre insumos (las x) y productos (las y) de los procesos con métodos de diseño de experimentos (DOE: *design of experiments*). La disponibilidad de modernos programas de cómputo para estadística redujo el laborioso trabajo de analizar y desplegar los datos, y ahora forman parte de las herramientas de Six-Sigma. Pero el objetivo general de la metodología es entender y lograr lo que quiere el cliente, pues se considera la clave para la rentabilidad de un proceso de producción. De hecho, para destacar este punto, en ocasiones se dice que DMAIC significa "Directores Mediocres Ignorando A Clientes".

El planteamiento común de los proyectos de Six-Sigma es la metodología DMAIC desarrollada por General Electric, como se describe a continuación:[3]

1. Definir (D)
   - Identificar a los clientes y sus prioridades.
   - Identificar un proyecto adecuado para los esfuerzos de Six-Sigma basado en los objetivos de la empresa, así como en las necesidades y realimentación de los clientes.
   - Identificar las características cruciales para la calidad (CTQ: *critical to quality*) que el cliente considera que influyen más en la calidad.
2. Medir (M)
   - Determinar cómo medir el proceso y cómo se ejecuta.
   - Identificar los procesos internos clave que influyen en las características cruciales para la calidad y medir los defectos que se generan actualmente en relación con esos procesos.
3. Analizar (A)
   - Determinar las causas más probables de los defectos.
   - Entender por qué se generan los defectos al identificar las variables clave que tienen más probabilidades de producir variaciones en los procesos.
4. Mejorar (I)
   - Identificar los medios para eliminar las causas de los defectos.
   - Confirmar las variables clave y cuantificar sus efectos en las características cruciales para la calidad.
   - Identificar los márgenes máximos de aceptación de las variables clave y un sistema para medir las desviaciones de dichas variables.
   - Modificar los procesos para mantenerse dentro de los límites apropiados.
5. Control (C)
   - Determinar cómo conservar las mejoras.
   - Determinar herramientas para que las variables clave se mantengan dentro de los límites máximos de aceptación en el proceso modificado.

HERRAMIENTAS ANALÍTICAS PARA SIX-SIGMA Y LA MEJORA CONTINUA

Las herramientas analíticas para Six-Sigma se usan desde hace muchos años en los programas tradicionales de mejora de calidad. Lo que las hace únicas en la aplicación de Six-Sigma es su integración en un sistema de administración corporativa. Las herramientas comunes de todas las iniciativas de calidad, Six-Sigma inclusive, son diagramas de flujos, gráficas de corridas, gráficas de Pareto, histogramas, formas de comprobación, diagramas de causas y efectos, y gráficas de control. En la ilustración 9.5 se presentan ejemplos de lo anterior, junto con un diagrama de flujos de oportunidades, ordenado según las categorías DMAIC en donde suelen aparecer.

Diagramas de flujo. Hay muchos tipos de diagramas de flujo. El que se muestra en la ilustración 9.5 representa los pasos del proceso como parte del análisis de SIPOC (suministrador o proveedor, insumo, proceso, obra, cliente). Básicamente, SIPOC es un modelo formalizado de insumos y productos para definir las etapas de un proyecto.

Gráficas de corridas. Representan tendencias de los datos con el paso del tiempo y así contribuyen a entender la magnitud de un problema en la etapa de definición. Por lo común grafican la mediana de un proceso.

Gráficas de Pareto. Estas gráficas desglosan un problema en las contribuciones relativas de sus componentes. Se basan en el hallazgo empírico común de que un gran porcentaje de los problemas se debe a un pequeño porcentaje de causas. En el ejemplo, 80% de las quejas de los clientes se debe a entregas demoradas, que son 20% de las causas anotadas.

Hojas de verificación. Son formatos básicos para uniformar el acopio de datos. Sirven para crear histogramas como se ve en la gráfica de Pareto.

[3] S. Walleck, D. O'Halloran y C. Leader, "Benchmarking World-Class Performance", *McKinsey Quarterly*, núm. 1, 1991, p. 7.

ILUSTRACIÓN 9.5
Herramientas analíticas para Six-Sigma y mejora continua.

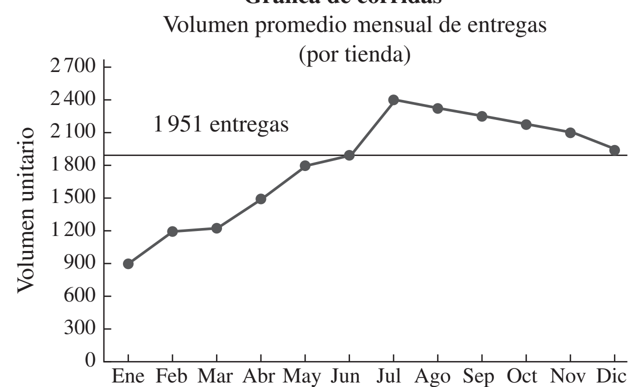
Diagrama de los principales pasos de un proceso*

Definir

PROVEEDORES	INSUMOS	PROCESOS	PRODUCTOS	CLIENTES
Fabricante	Copiadora		Copias	Usted
Empresa papelera	Papel			Expediente
	Tinta	Sacar una fotocopia		Otros
Ustedes	Original			
Compañía de luz	Electricidad			

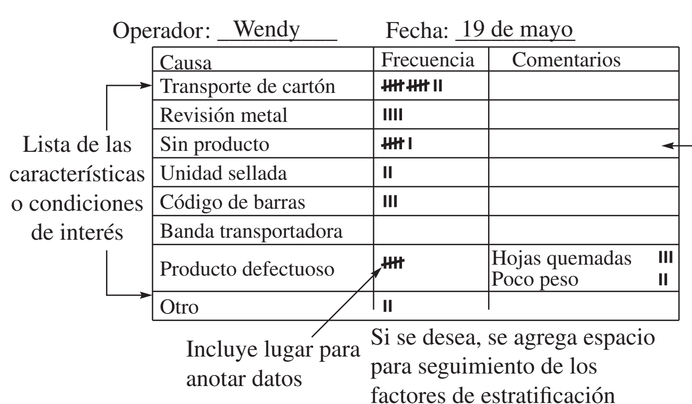
PASOS DEL PROCESO

Poner original sobre cristal → Bajar tapa → Ajustar medidas → Oprimir INICIO → Retirar original y copias

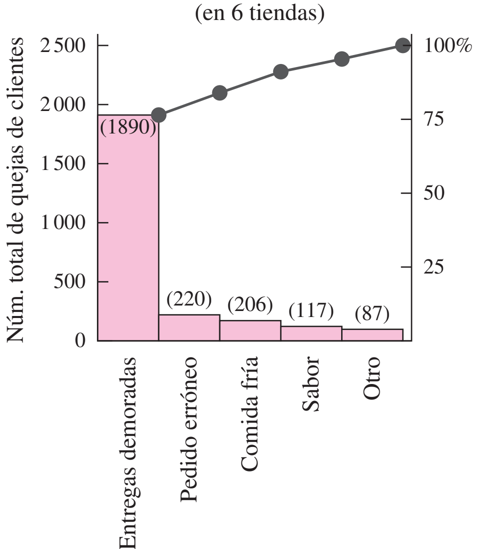


FORMATOS DE RECOPILACIÓN DE DATOS*

Las Hojas de verificación son formas básicas para uniformar la recopilación de datos en espacios previstos para anotarlos.



Medir



Nota sobre la ilustración: El tiempo de entrega se definió como el tiempo total desde que se coloca el pedido hasta que lo recibe el cliente.

* *Fuente:* Rath & Strong, *Rath & Strong's Six Sigma Pocket Guide*, 2001.
** *Fuente:* Raytheon Six Sigma, *The Memory Jogger*™ II, 2001.

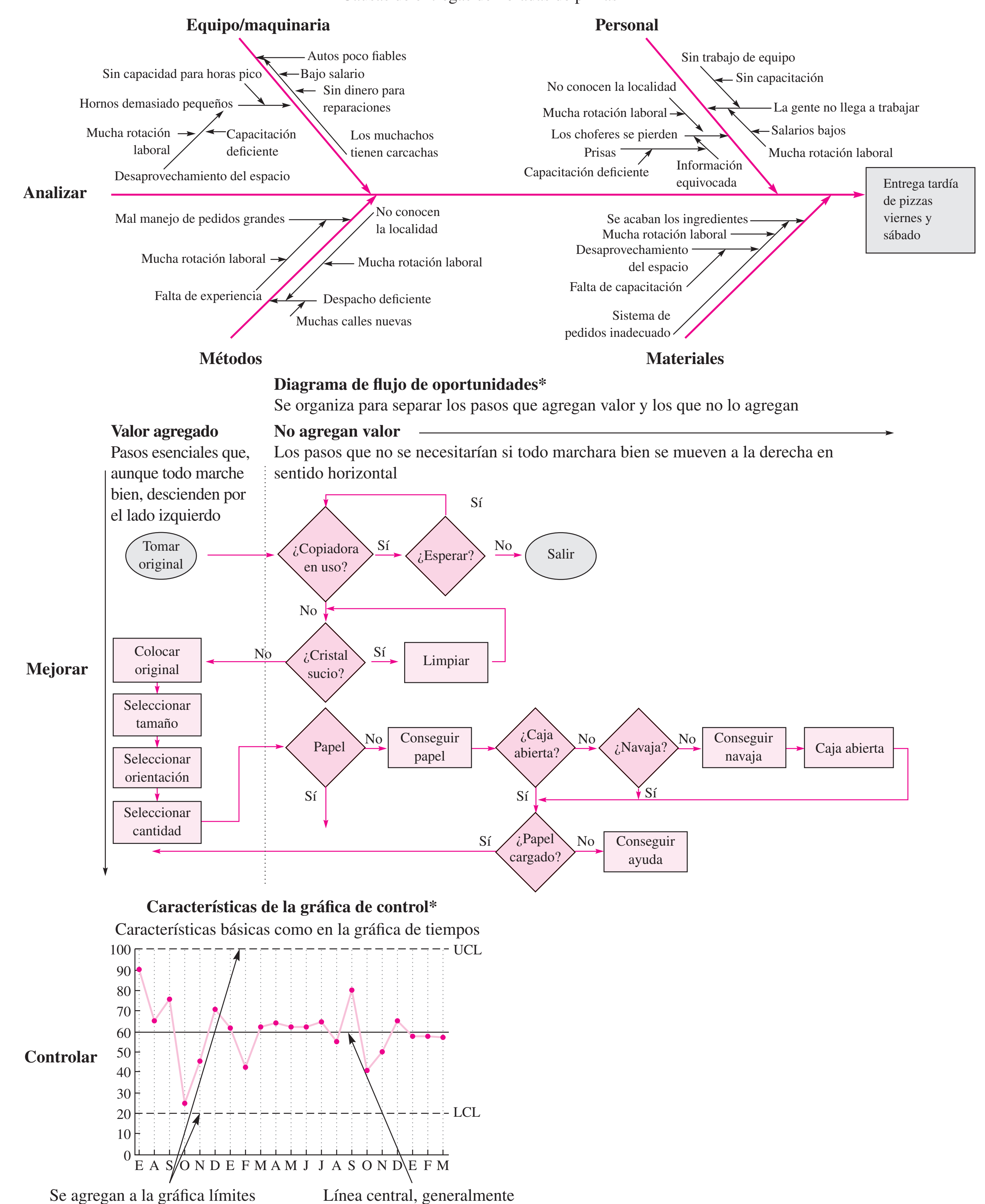


Diagrama de espina de pescado C y E**
Causas de entregas demoradas de pizzas
Equipo/maquinaria
Personal
Autos poco fiables
Sin capacidad para horas pico
Bajo salario
Sin dinero para reparaciones
Hornos demasiado pequeños
Mucha rotación laboral
Capacitación deficiente
Los muchachos tienen carcachas
Desaprovechamiento del espacio
Sin trabajo de equipo
Sin capacitación
No conocen la localidad
La gente no llega a trabajar
Mucha rotación laboral
Salarios bajos
Los choferes se pierden
Prisas
Mucha rotación laboral
Información equivocada
Capacitación deficiente
Analizar
Entrega tardía de pizzas viernes y sábado
Mal manejo de pedidos grandes
No conocen la localidad
Mucha rotación laboral
Mucha rotación laboral
Falta de experiencia
Despacho deficiente
Muchas calles nuevas
Se acaban los ingredientes
Mucha rotación laboral
Desaprovechamiento del espacio
Falta de capacitación
Sistema de pedidos inadecuado
Métodos
Materiales
Diagrama de flujo de oportunidades*
Se organiza para separar los pasos que agregan valor y los que no lo agregan
Valor agregado
Pasos esenciales que, aunque todo marche bien, descienden por el lado izquierdo
No agregan valor
Los pasos que no se necesitarían si todo marchara bien se mueven a la derecha en sentido horizontal
Tomar original
¿Copiadora en uso?
Sí
¿Esperar?
No
Salir
Sí
No
Mejorar
Colocar original
No
¿Cristal sucio?
Sí
Limpiar
Seleccionar tamaño
Seleccionar orientación
Seleccionar cantidad
Papel
No
Conseguir papel
¿Caja abierta?
No
¿Navaja?
No
Conseguir navaja
Caja abierta
Sí
Sí
Sí
Sí
¿Papel cargado?
No
Conseguir ayuda
Características de la gráfica de control*
Características básicas como en la gráfica de tiempos
Controlar
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
UCL
LCL
E A S O N D E F M A M J J A S O N D E F M
Se agregan a la gráfica límites de control (calculados de los datos)
Línea central, generalmente el promedio y no mediana

Diagrama de causas y efectos. También llamados *diagramas de espina de pescado*, muestran las relaciones propuestas hipotéticamente entre causas potenciales y el problema que se estudia. Cuando se tiene un diagrama de causas y efectos, el análisis tendría la finalidad de averiguar cuál de las causas potenciales contribuía al problema.

Diagrama de flujo de oportunidades. Se usa para discernir en un proceso los pasos que agregan valor de los que no lo agregan.

Gráficas de control. Se trata de gráficas de series temporales que muestran los valores graficados de una estadística, incluso un promedio central y uno o más límites de control. Aquí se usa para asegurarse de que los cambios introducidos están en control estadístico. Vea en el capítulo 9A una exposición de los tipos y usos de gráficas para el control de procesos.

Otras herramientas de uso extenso en los proyectos de Six-Sigma son modo de falla y análisis de efectos (FMEA: *Failure Mode and Effect Analysis*), y diseño de experimentos (DOE).

Modo de falla y análisis de efectos. Se trata de un método estructurado para identificar, calcular, priorizar y evaluar el riesgo de posibles fallas en cada etapa de un proceso. Comienza por identificar cada elemento, montaje o parte del proceso y anotar los modos posibles de falla, causas potenciales y efectos de cada falla. Por cada modo de falla se calcula un número de prioridad de riesgo (RPN: *Risk Priority Number*). Es un índice para medir el orden de importancia de los elementos anotados en la gráfica FMEA. Vea la ilustración 9.6. Estas condiciones incluyen la probabilidad de que suceda la falla (ocurrencia), el daño que resulte de la falla (gravedad) y la probabilidad de detectar la falla internamente (detección). Los elementos de más RPN deben ser los primeros en considerarse para mejoramiento. El FMEA sugiere una acción para eliminar la condición de fallo mediante la asignación de una persona o departamento responsable para resolver el problema y se elabore de nuevo el sistema, diseño o proceso, y se vuelva a calcular el RPN.

Diseño de experimentos (DOE: *design of experiments*). El diseño de experimentos, en ocasiones denominado *pruebas multivariadas*, es una metodología estadística para determinar las relaciones causales entre las variables de procesos (eje de las *x*) y la variable de producción (eje de las *y*). A diferencia de las pruebas estadísticas comunes, en las que hay que cambiar las variables una por una para determinar la que más influye, el DOE permite experimentar al mismo tiempo con muchas variables mediante una selección cuidadosa de un subconjunto de ellas.

ILUSTRACIÓN 9.6 Formato FMEA.

Análisis FMEA

Proyecto: __________________ Fecha: ________ (original)

Equipo: ___________________ _________(revisado)

Elemento o paso del proceso	Modo de falla potencial	Efectos potenciales de falla	Gravedad	Causa(s) potencial(es)	Incidente	Controles actuales	Detección	RPN	Acción recomendada	Responsabilidad y plazo deseado	"Posterior" → Acción emprendida	Gravedad	Incidente	Detección	RPN
Número de prioridad de riesgo total:									Número de prioridad de riesgo "posterior":						

Fuente: Rath & Strong, *Rath & Strong Six Sigma Pocket Guide*, 2001, p. 31.

INNOVACIÓN

¿QUÉ CARACTERIZA A UN BUEN CAMPEÓN?

En una empresa manufacturera que aplica un programa Six-Sigma, un campeón designado se reúne periódicamente con sus cintas negras. En una junta de rendición de reportes, un cinta negra le informó que tenía que comprar e instalar una mesa para separar defectos de la cadena de producción. Costaría alrededor de 17 000 dólares, pero la alternativa sería cerrar toda la cadena, lo que costaría mucho más. El contralor le indicó que siguiera el proceso normal de solicitud y recibiría su mesa en unos cuatro meses. La demora habría arruinado el proyecto en ese instante: presentar el proyecto "como siempre" habría mostrado poco compromiso de apoyar al programa Six-Sigma. Entonces, el campeón pidió los datos que justificaban la solicitud, los analizó, estuvo de acuerdo y consiguió que los ejecutivos autorizaran de inmediato una mesa para la siguiente semana.

De eso se trata ser un buen campeón: quitar estorbos y enviar señales claras de que él y la alta gerencia concuerdan y se comprometen con Six-Sigma. El campeón hace lo necesario para apoyar a los cintas negras.

Fuente: Greg Brue, *Six Sigma for Managers*, Nueva York, McGraw-Hill, 2002, p. 84.

Six-Sigma esbelta

Six-Sigma esbelta combina las herramientas de implantación y control de calidad de Six-Sigma con conceptos de administración de materiales de *manufactura esbelta* (o *ligera*). En la manufactura esbelta (que se estudia con más detalle en el capítulo 13) se obtiene un volumen grande de producción con los menores desperdicios mediante métodos de inventario justo a tiempo. El término *esbelto* en este contexto se centra en aminorar los costos al reducir al mínimo las materias primas, trabajos por terminar e inventario de bienes terminados. Reducir el inventario exige un nivel superior de calidad, pues los procesos tienen que ser previsibles porque no hay existencias sobrantes. Aminorar la variabilidad es un impulsor clave de los buenos programas de Six-Sigma esbeltos.

FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES DE SIX-SIGMA

La buena implantación de Six-Sigma se basa en llevar prácticas sensatas con el personal, así como metodologías técnicas. A continuación se presenta un breve resumen de las prácticas del personal para instrumentar Six-Sigma.

1. ***Líderes ejecutivos* que de verdad se comprometan con Six-Sigma y lo promuevan en toda la organización, y *campeones* que hagan suyos los procesos por mejorar.** Los campeones salen de las filas de los ejecutivos y gerentes, y se espera que identifiquen las medidas apropiadas al comenzar los proyectos y se cercioren de que los esfuerzos de mejoras se enfoquen en los resultados de negocios (vea "¿Qué caracteriza a un buen campeón?" en el apartado de Innovación).
2. **Capacitación corporativa en los conceptos y herramientas de Six-Sigma.** GE gastó más de mil millones de dólares para capacitar a sus profesionales de la fuerza de trabajo en los conceptos de Six-Sigma. Ahora, casi todo profesional de la organización está calificado en las técnicas de esta metodología. Para comunicar la necesidad de atacar con fuerza los problemas, los profesionales reciben títulos tomados de las artes marciales según sus habilidades y funciones: **cintas negras**, que entrenan o en realidad dirigen un equipo de mejoramiento Six-Sigma; **cintas negras maestros**, que reciben capacitación exhaustiva en las herramientas estadísticas y procesos de mejora (realizan las mismas funciones que los cintas negras, pero para más equipos), y **cintas verdes**, empleados que recibieron suficiente capacitación en Six-Sigma para participar en un equipo o, en algunas empresas, para trabajar individualmente en algún proyecto de pequeña escala relacionado con su trabajo. Otras compañías usan estas "cintas" en combinaciones distintas con patrocinadores y campeones que guían los equipos.
3. **Determinación de la dificultad de los objetivos de mejora.**
4. **Refuerzo continuo y premios.** En GE, antes de declarar los ahorros de un proyecto, el cinta negra responsable tiene que aportar pruebas de que los problemas se arreglaron permanentemente.

Cintas negras
Cintas negras maestros
Cintas verdes

Sistema Shingo: diseño contra fallas

El sistema Shingo se desarrolló al mismo tiempo y, en muchos sentidos, en conflicto con el método estadístico de control de calidad. Este sistema (o, con más precisión, esta filosofía de gestión de producción) toma su nombre de uno de los participantes en la concepción del sistema de entrega justo a tiempo de Toyota, Shigeo Shingo. Dos aspectos particulares del sistema Shingo reciben mayor atención: uno es cómo hacer recortes drásticos a los tiempos de preparación de las máquinas mediante procedimientos de cambio de troqueles en un minuto (SMED: *single-minute exchange of die*); el otro, lo que nos interesa en esta sección, es la inspección de origen y el sistema poka-yoke ("a prueba de errores") para llegar a cero defectos.

Shingo sostiene que los métodos usuales de control de calidad no evitan los defectos. Aunque proporcionan información probabilística sobre cuándo ocurrirá un defecto, son métodos *a posteriori*. La manera de evitar que surjan defectos al final de un proceso es introducir controles en él. Un elemento central del enfoque de Shingo es la distinción entre errores y defectos. Los defectos se producen porque la gente comete errores. Si bien los errores son inevitables, los defectos se previenen si se da realimentación que genere de inmediato medidas correctivas después de que se cometen los errores. Esta realimentación y estas medidas requieren inspección, que debe hacerse en 100% de los artículos producidos. Esta inspección es de uno de tres tipos: verificación sucesiva, autoverificación e inspección en el origen. La inspección por *verificación sucesiva* la ejecuta la siguiente persona del proceso o un evaluador objetivo, como un líder de grupo. La información sobre los defectos se realimenta en seguida al trabajador que elaboró el producto para que lo repare. La *autoverificación* es responsabilidad del mismo trabajador y es conveniente de por sí en todos los artículos, salvo los que requieren el uso de los sentidos (como presencia o gravedad de rayones, o igualar matices de pintura) o verificaciones sucesivas. La *inspección de origen* también la realiza el trabajador en lo individual, pero en lugar de buscar defectos, busca errores que causen defectos. Esto evita defectos y, por ende, retrabajos. Los tres tipos de inspección dependen de controles que consisten en dispositivos o **procedimientos contra fallas** (llamados **poka-yoke**). Los poka-yoke abarcan listas de comprobación o herramientas especiales que 1) impiden errores humanos que provoquen un defecto antes de iniciar el proceso o 2) brindan al trabajador realimentación rápida de las anomalías del proceso a tiempo para corregirlas.

Procedimientos contra fallas
Poka-yoke

Hay una amplia variedad de poka-yokes, desde reunir componentes para un depósito (para verificar que haya el número correcto de componentes en un montaje) hasta complejos aparatos de detección y señalización electrónica. En la ilustración 9.7 se da un ejemplo tomado de los textos de Shingo.

Queda mucho por decir sobre la obra de Shingo. Este autor arremetía contra la preocupación de la industria por las gráficas de control. Afirma que no son más que un reflejo de las condiciones del momento. Cuando el gerente de control de calidad de una planta de compuestos químicos anunció que tenía 200 gráficas en una planta de 150 empleados, Shingo le cuestionó si "no tenían gráficas de control para controlar las gráficas".[4]

ILUSTRACIÓN 9.7
Ejemplo de poka-yoke (pegar etiquetas a componentes que pasan por una banda transportadora).

Antes de la mejora

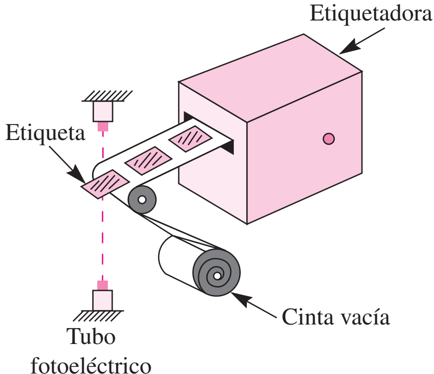
La operación dependía de la vigilancia del operador.

Después de la mejora

Aparato para verificar el pegado de las etiquetas.

La cinta que sale de la etiquetadora gira en ángulo agudo para que la etiqueta se desprenda y se proyecte. Un tubo fotoeléctrico la detecta y, si la etiqueta no se quita y pega al producto en el tiempo de proceso de 20 segundos, suena una chicharra y la banda transportadora se detiene.

Efecto: Se eliminaron las fallas en la aplicación de etiquetas.
Costo: 15 000 yenes (145 dólares).



[4] A. Robinson, *Modern Approaches to Manufacturing Improvement: The Shingo System,* Cambridge, Massachusetts, Productivity Press, 1990, p. 234.

ISO 9000 e ISO 14000

Global

ISO 9000

ISO 9000 e ISO 14000 son estándares internacionales de administración y garantía de calidad. Estos estándares están diseñados para que las empresas documenten que mantienen un sistema de calidad eficiente. Los estándares se publicaron en 1987 por la Organización Internacional de Estandarización (ISO: International Organization for Standardization), organismo internacional especializado y reconocido por filiales en más de 160 países. **ISO 9000** es ya una referencia internacional de las necesidades de administración de calidad en los tratos entre empresas, e ISO 14000 se refiere sobre todo al cuidado del ambiente.

La premisa de los estándares es que los defectos se previenen con planeación y con la aplicación de *las mejores prácticas* en cada etapa del negocio, del diseño a la manufactura, instalación y servicio. Estos estándares se enfocan en identificar los criterios por los que toda empresa, sea de manufactura o de servicios, asegure que el producto que sale de sus instalaciones cumple los requisitos de los clientes. Estos estándares imponen a una empresa que, primero, documente e instale sus sistemas de administración de calidad y luego verifique, mediante una auditoría realizada por un tercero independiente y acreditado, el apego de dichos sistemas a los requisitos de los estándares.

Los estándares ISO 9000 se basan en ocho principios de administración de calidad que se definen en el documento ISO 9000:2000. Estos principios se enfocan en procesos de negocios relacionados con diversos sectores de una empresa: 1) enfoque en los clientes, 2) liderazgo, 3) participación de las personas, 4) enfoque en procesos, 5) enfoque en sistemas de administración, 6) mejora continua, 7) enfoque real en la toma de decisiones y 8) relaciones de beneficio mutuo con los proveedores. Los documentos ISO detallan los requisitos para cumplir con los estándares y describen las herramientas de los estándares para mejorar la calidad de la empresa. Estos documentos son generales y se aplican a toda empresa que elabore productos o preste servicios.

La familia de estándares ISO 14000 de administración ambiental se ocupa de la necesidad de ser responsables con el medio natural. Los estándares definen un método de tres vías para enfrentar las dificultades ecológicas. La primera es la definición de más de 350 estándares internacionales para vigilar la calidad del aire, agua y suelo. En muchos países, estos estándares sirven como base técnica para las normas ambientales. La segunda parte de ISO 14000 es un enfoque estratégico de definición de los requisitos de un sistema de administración ambiental que se establece con las herramientas de supervisión. Por último, el estándar ambiental propone la inclusión de aspectos ecológicos en el diseño de productos y favorece el desarrollo de productos y servicios que no dañen el ambiente.

Además de los estándares generales ISO 9000 e ISO 14000, se han definido muchos otros estándares muy específicos. Los siguientes son algunos ejemplos:

- QS-9000 es un sistema de administración de calidad desarrollado por Chrysler, Ford y General Motors dirigido a proveedores de componentes de producción, materiales y servicios para la industria automotriz.
- ISO/TS 16949, desarrollado por la Fuerza de Tarea Automotriz Internacional, uniforma los estándares de calidad estadounidenses, alemanes, franceses e italianos en la industria automotriz mundial.
- Los estándares ambientales ISO 14001 se aplican por los proveedores de la industria automotriz como requisitos de Ford y General Motors.
- ANSI/ASQ Z1.4-2003 proporciona métodos para recabar, analizar e interpretar datos de inspección de atributos, mientras que Z1.9-2003 se relaciona con la inspección de variables.
- TL 9000 define los requisitos del sistema de calidad de telecomunicaciones para el diseño, desarrollo, producción, entrega, instalación y mantenimiento de productos y servicios en la industria de las telecomunicaciones.

Cadena de suministro

Los estándares ISO proporcionan guías de calidad de aceptación universal. Aunque no se requiere certificación, muchas empresas han visto que es esencial para ser competitivas en los mercados globales. Suponga que usted necesita comprar componentes para su empresa y varios proveedores ofrecen artículos similares con precios parecidos. Suponga también que una empresa tiene certificado ISO 9000 y las otras no. ¿A quién le compraría? No hay duda de que la compa-

ñía ISO 9000 llevaría la delantera en sus decisiones. ¿Por qué? Porque ISO 9000 especifica cómo opera el proveedor, así como normas de calidad, tiempos de entrega, niveles de servicio, etcétera.

Hay tres formas de certificación:

1. Del interesado: una empresa se hace una auditoría según los estándares ISO 9000.
2. Del cliente: un cliente hace una auditoría de su proveedor.
3. De un tercero: funge como auditor un centro "calificado", nacional o internacional, de estándares o certificación.

La mejor certificación de una empresa es mediante un tercero. La empresa que aprueba la auditoría de un tercero queda certificada y puede registrarse y declararse con el estado ISO 9000, y se convierte en parte de un registro de empresas certificadas. La certificación de terceros también tiene ventajas legales en la Comunidad Europea. Por ejemplo, un fabricante es responsable de las lesiones que sufra un usuario de su producto.

Sin embargo, la empresa se libera de toda responsabilidad si demuestra que cumplió con los estándares de producción convenientes y seleccionó con cuidado a sus proveedores como parte de sus requisitos de adquisiciones. Por este motivo, hay un fuerte incentivo para escoger proveedores con certificación ISO 9000.

Indicadores de referencia externos para mejora de la calidad

Indicadores de referencia externos

Los métodos de fomento de la calidad descritos hasta este momento se centran más o menos en el interior de la empresa. Se pretende mejorar al analizar detalladamente las prácticas en curso en la propia compañía. No obstante, los **indicadores de referencia externos** salen de la organización para examinar lo que hacen los competidores y los mejores realizadores ajenos a la industria. Los indicadores de referencia comprenden los pasos siguientes:

Global

Identificar procesos que necesitan mejoras. Identificar a la empresa que ostente el liderazgo mundial en ejecución del proceso. En el caso de muchos procesos puede ser una compañía que no pertenezca a la misma industria. Entre los ejemplos se cuentan Procter and Gamble, que tomó como referencia a L.L. Bean para evaluar su sistema de recepción de pedidos; o ICL (un gran fabricante de computadoras en Inglaterra), que mejoró su sistema de distribución con la referencia de Marks and Spencer (tiendas inglesas de ropa). En un estudio de McKinsey se cita una empresa que midió los tiempos de atención en la fosa de un circuito de carreras de autos como punto de referencia para efectuar cambios con sus trabajadores en una línea de montaje.[5] *Llame a los gerentes de esa empresa y haga una visita personal para entrevistarlos a ellos y a los trabajadores.* Muchas compañías seleccionan un equipo de trabajadores del proceso como parte del equipo de visitantes.

Analizar los datos. Esto entraña buscar lagunas entre lo que hace su empresa y lo que hace la compañía de referencia. Hay dos aspectos del estudio: uno es comparar los procesos reales, y el otro es comparar el desempeño de estos procesos de acuerdo con un conjunto de medidas. En general, los procesos se describen con un diagrama de flujos y evaluaciones subjetivas sobre la relación de los trabajadores con dichos procesos. En algunos casos, las compañías permiten que se graben en video, aunque hay ahora una tendencia a mantener las cosas veladas por temor de entregar secretos de procesamiento.

Resumen

Ya no es un secreto cómo alcanzar la ACT. La dificultad es garantizar que el programa de calidad de verdad se enfoque en los clientes y sea lo bastante ágil para establecer rápidamente las mejoras sin perder de vista las necesidades reales del negocio. Debe analizarse la calidad del

[5] Walleck, O'Halloran y Leader, "Benchmarking World-Class Performance", p. 7.

propio sistema de calidad. También es necesario sostener una cultura de calidad de largo alcance. Algunas empresas (cuyo nombre se omite) que adquirieron una gran reputación por su calidad en las décadas de 1980 y 1990 agotaron el impulso de sus esfuerzos de calidad: sus gerentes no lograron sostener el entusiasmo necesario para que la calidad retuviera la mayor prioridad global. Como señaló Tom Peters: "La mayor parte de los programas de calidad fracasa por cualquiera de dos razones: tienen un sistema sin pasión o una pasión sin sistema".[6]

Conceptos clave

Administración de la calidad total (ACT) Manejo de la organización completa de modo tal que sobresalga en todas las dimensiones de productos y servicios importantes para el cliente.

Premio Nacional a la Calidad Malcolm Baldrige Premio establecido por el Departamento de Comercio de Estados Unidos y otorgado cada año a las empresas de calidad sobresaliente.

Calidad del diseño Valor inherente del producto en el mercado.

Conformidad con la calidad Grado en el que se cumplen las especificaciones del producto o servicio.

Calidad en el origen La persona que hace el trabajo tiene la responsabilidad de ver que se cumplan las especificaciones.

Dimensiones de la calidad Criterios con que se mide la calidad.

Costo de la calidad Gastos para alcanzar la calidad de un producto o servicio, como costos de prevención, evaluación, falla interna y falla externa.

Six-Sigma Término de estadística referido a una meta de calidad de no más de cuatro defectos por millón de unidades. También se refiere a una doctrina y programa de mejora de calidad.

DPMO (defectos por millón de oportunidades) Medida de variabilidad de un proceso.

DMAIC Siglas de la metodología de mejoras **d**efinir, **m**edir, **a**nalizar, **m**ejorar y **c**ontrolar seguida por empresas que emprenden programas de Six-Sigma.

Ciclo PDCA También llamado "ciclo o rueda de Deming", se refiere al ciclo de mejora continua de planear, desarrollar, comprobar y actuar.

Mejora continua Doctrina que busca constantemente mejoras en los procesos mediante el esfuerzo de los equipos.

Kaizen Término japonés que significa "mejoramiento continuo".

Six-Sigma esbelta Programa que combina la implantación y el control de calidad de herramientas de Six-Sigma con el concepto de manejo de materiales de manufactura esbelta, centrado en rebajar los costos mediante la reducción de existencias al mínimo absoluto.

Cintas negras, cintas negras maestros, cintas verdes Términos para describir los niveles de habilidades y responsabilidades personales de los programas de Six-Sigma.

Procedimientos contra fallas o poka-yoke Prácticas sencillas que evitan errores o dan realimentación oportuna para que el trabajador los corrija.

ISO 9000 Estándares formales para la certificación de calidad fijados por la Organización Internacional de Estandarización.

Indicadores de referencia externos Buscar fuera de la compañía para examinar qué hacen respecto de la calidad los mejores dentro y fuera de la industria de la empresa.

Preguntas de repaso y análisis

1. ¿La meta de Six-Sigma es realista para servicios como las tiendas de videos Blockbuster?
2. "Si se pide a los empleados de línea que desempeñen actividades de mejora de calidad, su productividad bajará." Comente.
3. "No se inspecciona la calidad de un producto, hay que incorporarla a él." Comente las implicaciones de esta declaración.
4. "Antes de incorporar la calidad, tiene que pensar en la calidad." ¿En qué difieren las implicaciones de esta aseveración de las del punto 3?
5. El escritor de negocios Tom Peters propuso que al hacer cambios en los procesos, hay que "ensayarlos, verificarlos e impulsarlos". ¿Cómo concuerda esto con la doctrina de DMAIC/mejora continua?
6. Shingo contaba la anécdota de un poka-yoke que creó con el fin de que los operadores no cometieran el error de poner menos de los cuatro resortes necesarios en el mecanismo para oprimir botones. El método en vigor exigía que los obreros sacaran los resortes, uno por uno, de una caja que tenía varios centenares y colocaran dos detrás del botón de encendido y dos detrás del botón de apagado. ¿Qué poka-yoke creó Shingo?
7. Un paquete ordinario de procesamiento de texto se carga con poka-yokes. Anote tres. ¿Hay otros que quisiera que estuvieran en los paquetes?

[6] T. Peters, *Thriving on Chaos*, Nueva York, Knopf, 1987, p. 74.

Problemas

1. Un gerente afirma que su proceso de verdad marcha muy bien. De 1 500 piezas, 1 477 se produjeron sin ningún defecto en particular y pasaron la inspección. A partir de la teoría de Six-Sigma y en igualdad de circunstancias, ¿cómo calificaría este desempeño?
2. El profesor Chase se siente frustrado por su incapacidad para prepararse una buena taza de café por la mañana. Muéstrele con un diagrama de espina de pescado cómo analizaría usted su proceso para hacerse una taza de su mal brebaje.
3. Con el proceso de indicadores de referencia y todas las herramientas analíticas DMAIC/CI muestre cómo mejoraría su aprovechamiento en su peor materia de la escuela.
4. Prepare un diagrama de flujo SIPOC (ilustración 9.5) de los principales pasos que se siguen en el proceso de abordar un vuelo comercial. Inicie el proceso cuando el pasajero llega a la entrada del aeropuerto local.
5. Prepare un diagrama de flujo de oportunidades sobre el mismo proceso de abordar un vuelo comercial.
6. En la siguiente tabla se da una lista de todos los costos de calidad en los que incurrió Sam's Surf Shop el año anterior. ¿En cuánto evaluó Sam sus costos de calidad el año pasado?

Costos anuales de inspección	$ 155 000
Costo anual de material de desecho	$ 286 000
Costo anual de retrabajo	$ 34 679
Costo anual de capacitación en calidad	$ 456 000
Costo anual de garantías	$1 546 000
Costo anual de pruebas	$ 543 000

7. A continuación se presenta una tabla de datos reunidos durante seis meses en una tienda local de abarrotes. Realice un análisis de Pareto de los datos y determine el porcentaje total de quejas representadas por las dos categorías más comunes.

Todos los demás	71
Registradora	59
General	58
Nivel de servicio	55
Políticas y procedimientos	40
Marcaje de precios	45
Calidad de productos	87
Solicitud de productos	105
Fila para pagar	33
Condición de existencias	170

8. Un problema común que enfrentan muchos conductores es un automóvil que no arranca. Prepare un diagrama de espina de pescado que le ayude a diagnosticar las causas posibles del problema.

Ejercicios de enriquecimiento en internet

1. Visite el sitio en internet del premio Baldrige y vea quién lo obtuvo este año. ¿Qué ideas de calidad demostró el ganador? ¿Qué fue lo más creativo que hizo el ganador?
2. Visite el sitio en internet de Six-Sigma para ver cómo las empresas aplican el concepto.

CASO: HANK KOLB, DIRECTOR DE GARANTÍA DE CALIDAD

Hank Kolb silbaba mientras se dirigía a su oficina, un poco todavía con la sensación de ser un extraño, pues lo habían contratado hacía cuatro semanas como director de garantía de calidad. Toda esa semana había estado fuera de la planta, en un seminario que el departamento de capacitación de la corporación dio a los gerentes de calidad de las plantas de manufactura. Ahora esperaba con ansia sumergirse en los problemas de calidad en esta fábrica de 1 200 empleados dedicada a la fabricación de productos industriales.

Kolb asomó la cabeza por la oficina de Mark Hamler, su subordinado inmediato como gerente de control de calidad, y le preguntó cómo les había ido la semana anterior. Como Hamler sonrió a medias y apenas dijo: "Ah, bien", Kolb metió el freno. No conocía muy bien a Hamler y no estaba seguro si convenía insistir ante esa respuesta. Kolb titubeaba en su naciente relación con Hamler, pues no lo habían ascendido al puesto que ahora tenía Kolb; en la hoja de evaluación de Hamler se leía: "Conocimientos técnicos

excelentes; le faltan habilidades administrativas". Kolb decidió averiguar más y le preguntó a Hamler qué había pasado. Este contestó: "Nada más que otro lío de calidad. La semana pasada tuvimos un pequeño problema con la línea Greasex [un disolvente de grasa especial empacado en una lata rociadora, para el sector de alta tecnología]. Se encontró demasiada presión en algunas latas del segundo turno, pero un supervisor las arregló para que pudiéramos embarcarlas. Cumplimos con nuestro calendario de entregas". Como Kolb todavía no conocía bien la planta ni sus productos, le pidió más datos a Hamler; a duras penas, Hamler continuó:

> Tuvimos problemas con el nuevo equipo de llenado y algunas latas se presurizaron más del máximo especificado.
>
> La tasa de producción aún es de 50% de la norma, alrededor de 14 cajas por turno, y nos dimos cuenta a la mitad del turno. Mac Evans [el inspector de esa línea] lo detectó, marcó como "Retenidas" las cajas y siguió con su trabajo. Cuando regresó al final del turno para anotar los rechazos, Wayne Simmons, supervisor de primera línea, estaba junto a una plataforma de bienes terminados sellando una caja de cartón de Greasex de la que se habían quitado las etiquetas de "Retenidas". Le dijo a Mac que otro inspector le contó del problema de presión excesiva en un descanso. Entonces, volvió y quitó las etiquetas. Una por una, paró de cabeza todas las latas de las ocho cajas y las aireó. Le dijo a Mac que la planeación de producción presionaba mucho por ese material y que no podían retrasarlo mandándolo a la sección de retrabajo. Le dijo a Mac que iría con el operador para que hiciera bien su trabajo la próxima vez. Mac no anotó nada, sino que vino a contármelo hace unos tres días. Esto pasa de vez en cuando y le dije que verificara con los de mantenimiento que la máquina de relleno estuviera ajustada. Me encontré a Wayne en el pasillo y le dije que la próxima vez tengo que mandar el material a retrabajar.

Kolb se quedó mudo, no pudo decir mucho. No sabía si era grave o no. Cuando llegó a su oficina, volvió a pensar en lo que Morganthal, el gerente general, le dijo cuando lo contrató. Le advirtió sobre la "actitud de falta de calidad" en la planta y le dijo que "debería hacer algo al respecto". Morganthal subrayó también los problemas de calidad de la planta: "Tenemos que mejorar nuestra calidad; nos está costando mucho dinero. Estoy seguro, pero no puedo probarlo. Hank, tienes todo mi apoyo en este asunto. Estás a cargo de estos problemas de calidad. Tienes que terminar esta espiral descendente de calidad, productividad y rotación".

El incidente había pasado hacía una semana; quizá los bienes estarían ya en manos de los clientes y todos lo habían olvidado (o querían olvidarlo). Parecía haber problemas más apremiantes a los que Kolb debía dedicarse, pero no dejaba de pensar en este. Consideraba que no se tomaba en serio al departamento de calidad y que era una afrenta personal por parte del de manufactura. No quería comenzar una guerra con la gente de producción, pero, ¿qué podía hacer? Kolb se molestó tanto que canceló sus citas y dedicó la mañana a hablar con algunas personas. Después de una mañana larga y llena de tacto, obtuvo esta información:

1. **Del personal.** Hacía apenas dos semanas que se había transferido de embarque al operador del equipo de llenado. No tenía capacitación formal en el puesto y Wayne le enseñaba, en la práctica, a operar el equipo. Cuando Mac probó la presión de las latas, no encontró al operador y se enteró del material rechazado hasta que se lo dijo Wayne en el cambio de turno.
2. **Del departamento de mantenimiento de la planta.** Esta máquina de llenado automático se compró dos años antes para otro producto. Hacía seis meses que se transfirió a la línea de Greasex y mantenimiento atendió 12 solicitudes de mantenimiento el mes anterior para hacer reparaciones o ajustes. Los de mantenimiento adaptaron la máquina para manejar la baja viscosidad de Greasex, para lo que no se había fabricado. Esto implicó diseñar una cabeza de llenado especial. No había un calendario de mantenimiento preventivo para esta máquina y los componentes de la sensible cabeza de llenado, reemplazados tres veces en el último semestre, tenían que fabricarse en el taller de máquinas contiguo. El tiempo de detención no estándar era de 15% del tiempo de corrida actual.
3. **Del departamento de compras.** Las cabezas de la boquilla de plástico para las latas de Greasex, diseñadas por un proveedor para este producto nuevo en un pedido urgente, tenían ligeras irregularidades en la pestaña interior y esto generaba algunos problemas para ajustar la tapa de la lata. Mantenimiento aumentó la aplicación de presión de la cabeza de llenado y resolvió el problema, o por lo menos forzó el paso de las cabezas de la boquilla a pesar de las imperfecciones. Los agentes de compras dijeron que hablarían con el representante de ventas del proveedor de la cabeza de la boquilla la próxima vez que viniera.
4. **Del departamento de diseño y de empaque de productos.** La lata, diseñada especialmente para Greasex, tenía un contorno para que el usuario la tomara fácilmente. Este cambio, pedido por investigación de mercados, hizo destacar la apariencia de Greasex entre sus competidores y los ingenieros lo consideraron importante. No se hizo ninguna prueba sobre los efectos del contorno de la lata en la velocidad de llenado ni en la hidrodinámica de llenado de una cabeza de alta presión. Kolb sospechaba que el nuevo diseño funcionaba como sistema de Venturi (que el impulso generaba succión) durante el llenado, pero el diseñador del empaque no lo consideraba muy probable.
5. **Del gerente de manufactura.** Ya había oído del problema. De hecho, Simmons había bromeado y se jactaba con otros capataces y supervisores de turnos de que había batido su cuota de producción. El gerente de manufactura pensaba que Simmons era uno de "los mejores capataces que tengo... siempre saca su producción". De hecho, sus papeles de ascenso estaban sobre el escritorio del gerente de manufactura cuando Kolb llegó. Simmons era un fuerte candidato para subir a supervisor de turno. El gerente de manufactura, por presión de Morganthal para que mejorara los costos y redujera los tiempos de entrega, simpatizaba con Kolb pero dijo que se habría tenido que ventilar la zona de retrabajo con sus manómetros, y Wayne lo hizo a mano. "Sin embargo, hablaré con Wayne sobre el incidente", concluyó.
6. **De mercadotecnia.** Se apresuró la introducción de Greasex al mercado para ganar a los competidores y estaba en marcha una importante campaña promocional para aumentar su presencia ante los consumidores. Un diluvio de pedidos tenía empantanado al departamento de recepción de pedidos y tenía a Greasex entre los primeros lugares de compras repetidas. La producción tenía que sacar el material; incluso se toleraba salirse un poco de las especificaciones, porque "es mejor estar en los estantes de las tiendas que no llegar. A quién le importa si la etiqueta quedó algo arrugada o si el material sale con un poco de presión excesiva. Necesitamos participación de mercado ahora en aquel segmento de alta tecnología".

Lo que más molestaba a Kolb era el problema de seguridad de la presión excesiva en las latas. No tenía modo de determinar el riesgo de la presión alta ni si Simmons la había aireado lo suficiente para reducir el peligro. Los datos del fabricante de las latas, que Hamler le había mostrado, indicaban que la presión detectada por el inspector no estaba en la región de peligro; pero el inspector solo había seguido el procedimiento de muestreo para probar ocho cajas. Aunque desde el punto de vista moral aceptara que no había riesgos de seguridad con el producto, ¿cómo se aseguraría Kolb de que no volviera a pasar?

Kolb no almorzó. Se quedó en su oficina para reflexionar sobre los sucesos de la mañana. En el seminario de la semana anterior se habló de la función de la calidad, productividad y calidad, generar una nueva actitud y del desafío de la calidad; pero, ¿cuándo le indicaron qué hacer cuando pasara esto? Había dejado un muy buen trabajo para venir aquí porque pensaba que la empresa tomaba en serio la importancia de la calidad y quería enfrentar un reto. Kolb había pedido y le habían otorgado un salario igual al de los directores de manufactura, marketing, e investigación y desarrollo, y rendía cuentas directamente al gerente general. Pero todavía no sabía qué hacer. Ni siquiera sabía qué podía hacer en estas circunstancias.

Preguntas

1. ¿Cuáles son las causas de los problemas de calidad de la línea Greasex? Coloque su respuesta en un diagrama de espina de pescado.
2. ¿Qué pasos en general debe dar Hank para establecer un programa de mejora continua en la compañía? ¿Qué problemas tiene que superar para hacer su trabajo?

Fuente: Copyright 1981 por President and Fellows of Harvard College, Harvard Business School, caso 681.083. Frank S. Leonard preparó este caso para análisis en clase y no para ejemplificar un manejo eficaz o ineficaz de una situación administrativa. Reimpreso con autorización de la Harvard Business School.

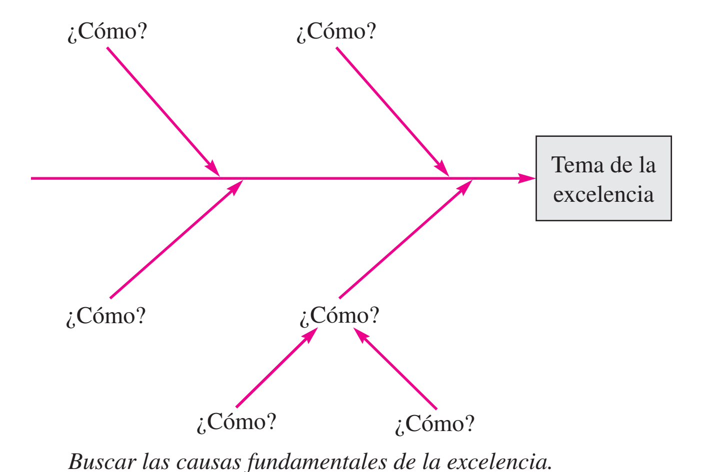
CASO: INVESTIGACIÓN VALORATIVA: OTRA CLASE DE ESPINA DE PESCADO

El diagrama normal de espina de pescado pretende identificar la causa fundamental de un problema. Encontrar esta causa es el inicio para resolverlo. Por otro lado, las mejoras no consisten siempre en averiguar qué salió mal, sino también en identificar lo que se hizo bien. Para esto se diseñó el método de la investigación valorativa (IV). Su mecanismo consiste en pedir anécdotas de éxito a los empleados sobre, por ejemplo, cómo conquistaron a sus clientes. Después, las anécdotas se ponen en un diagrama de espina de pescado como tema de estudio (vea la ilustración 9.8). El método prosigue reuniendo las causas del éxito, que se anotan en el diagrama como "espinas" del éxito. Una de sus bondades es que se basa en las capacidades exclusivas de la empresa, no en copiar enfoques ajenos.

El diagrama normal de espina de pescado pretende identificar la causa fundamental de un problema. Encontrar esta causa es el inicio para resolverlo. Por otro lado, las mejoras no consisten siempre en averiguar qué salió mal, sino también en identificar lo que se hizo bien. Para esto se diseñó el método de la investigación valorativa (IV). Su mecanismo consiste en pedir anécdotas de éxito a los empleados sobre, por ejemplo, cómo conquistaron a sus clientes. Después, las anécdotas se ponen en un diagrama de espina de pescado como tema de estudio (vea la ilustración 9.8). El método prosigue reuniendo las causas del éxito, que se anotan en el diagrama como "espinas" del éxito. Una de sus bondades es que se basa en las capacidades exclusivas de la empresa, no en copiar enfoques ajenos.

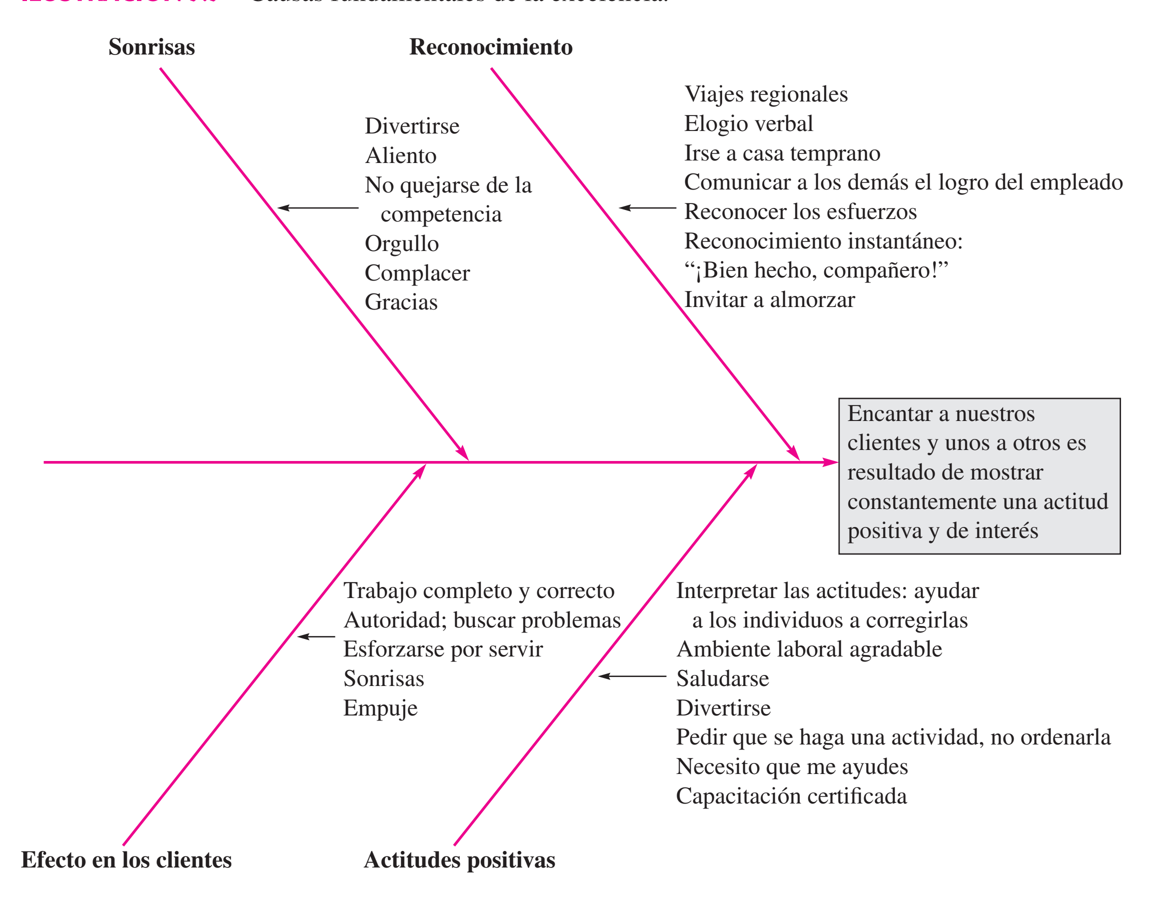
Este método lo aplicó con frutos el ejecutivo de Direct Discount Tires, Steve Fornier, Jr., quien afirma: "La IV es una herramienta sencilla para averiguar qué cosas se hacen y por qué se hacen así. Ofrece a los empleados la oportunidad de pensar por su cuenta,

ILUSTRACIÓN 9.8 Identificar impulsores de excelencia (mecanismos de la excelencia).



Buscar las causas fundamentales de la excelencia.

ILUSTRACIÓN 9.9 Causas fundamentales de la excelencia.



encontrar soluciones y desempeñarse en niveles superiores, en lugar de ser receptores de un discurso de tipo directivo. Como ellos mismos indagan las respuestas, impulsa el espíritu emprendedor, promueve las innovaciones y, con el tiempo, genera nuevos líderes y nuevas mejores prácticas desde el nivel de trato con el público, con lo que nos mantenemos como 'los mejores'. Sin esta innovación, corríamos el riesgo de estancarnos" (en la ilustración 9.9 se muestra el diagrama de espina de pescado de Direct Discount Tires).

Preguntas

1. Desde el punto de vista de un trabajador, ¿cuál le parece el mayor beneficio de la investigación valorativa en comparación con el análisis común de causa y efecto?
2. Como ejercicio interesante, piense en su maestro favorito. Elabore un diagrama de espina de pescado como indagación valorativa para identificar por qué cree que ese maestro es tan sobresaliente.

Fuente: William Youngdahl y Caren Siehl, notas de conferencia, American Graduate School of International Management, 2006.

Cuestionario

1. Se refiere al valor inherente del producto en el mercado y es una decisión estratégica para la empresa.
2. Se relaciona con lo bien que un producto o servicio satisfaga las especificaciones de diseño.
3. Se relaciona con la forma en que el cliente aprecia las dimensiones de calidad de un producto o servicio.
4. Serie de normas internacionales de calidad.
5. ¿Cuál es el enemigo de una buena calidad?
6. Se esperaría que un proceso Six-Sigma que funciona en el centro de sus límites de control presente este porcentaje de defectos.
7. Metodología estándar para mejora de calidad creada por General Electric.

1. Calidad de diseño 2. Conformidad con la calidad 3. Aptitud de uso 4. ISO 9000 5. Variación 6. Dos partes por mil millones de unidades 7. Ciclo DMAIC

Bibliografía seleccionada

Bemowski, K. y B. Stratton (comps.), *101 Good Ideas: How to Improve Just About Any Process,* Washington, D.C., American Society for Quality, 1999.

Blakeslee, J. A., Jr., "Implementing the Six Sigma Solution", *Quality Progress*, julio de 1999, pp. 77-85.

Brue, G., *Six Sigma for Managers,* Nueva York, McGraw-Hill, 2002.

Chowdhury, S., *Design for Six Sigma,* Chicago, Dearborn Trade Publishing, 2002.

Chowdhury, S. y K. Zimmer, *QS-9000 Pioneers—Registered Companies Share Their Strategies for Success,* Burr Ridge, Illinois, Richard D. Irwin, 1996.

Crosby, P. B., *Quality Is Free,* Nueva York, McGraw-Hill, 1979, reimpresión de 1992.

_____, *Quality Is Still Free,* Nueva York, McGraw-Hill, 1996.

Deming, W. E., *Quality, Productivity and Competitive Position,* Cambridge, Massachusetts, MIT Center for Advanced Engineer Study, 1982.

Eckes, G., *Six Sigma Revolution: How General Electric and Others Turned Process into Profits,* Nueva York, John Wiley & Sons, 2001.

Evans, J. R. y W. M. Lindsay, *The Management and Control of Quality,* Cincinnati, South-Western/Thomson Learning, 2002.

Feigenbaum, A. V., *Total Quality Control,* Nueva York, McGraw-Hill, 1991.

Gitlow, H., A. Oppenheim y R. Oppenheim, *Quality Management: Tools and Methods por Improvement,* 2a. ed., Nueva York, Irwin/McGraw-Hill, 1995.

Juran, J. M., *Quality Control Handbook,* 3a. ed., Nueva York, McGraw-Hill, 1979.

Juran, J. M. y F. M. Gryna, *Quality Planning and Analysis,* 2a. ed., Nueva York, McGraw-Hill, 1980.

Pande, P. S., R. P. Neuman y R. R. Cavanagh, *The Six Sigma Way,* Nueva York, McGraw-Hill, 2000.

_____, *The Six Sigma Way Team Fieldbook,* Nueva York, McGraw-Hill, 2002.

Robinson, A., *Modern Approaches to Manufacturing Improvement: The Shingo System,* Cambridge, Massachusetts, Productivity Press, 1990.

Shingo, S., *Zero Quality Control: Source Inspection and the Poka-Yoke System,* Stamford, Connecticut, Productivity Press, 1986.

Taormina, T., *Virtual Leadership and the ISO 9000 Imperative*, Englewood Cliffs, Nueva Jersey, Prentice Hall, 1996.

Welch, J., *Jack: Straight from the Gut,* Nueva York, Warner Business Books, 2001.

Capítulo 9A

CAPACIDAD DE PROCESOS Y CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS

Después de leer este capítulo, usted:

1. Explicará qué es el control estadístico de la calidad.
2. Calculará la capacidad de un proceso.
3. Entenderá cómo se supervisan los procesos con gráficas de control.
4. Reconocerá conceptos de muestreo de aceptación.

Este capítulo sobre control estadístico del proceso (CEP) cubre los aspectos cuantitativos de la administración de la calidad. En general, el CEP consiste en diversas técnicas diseñadas para evaluar la calidad desde el punto de vista del cumplimiento. Es decir, ¿con qué eficiencia se cubren las especificaciones establecidas durante el diseño de las piezas o servicios que se ofrecen? Por lo general, la administración del desempeño de la calidad mediante técnicas de CEP comprende el muestreo periódico de un proceso y el análisis de estos datos con criterios de desempeño derivados de manera estadística.

Como se verá, el CEP se aplica en procesos tanto de manufactura como de servicio. Los siguientes son ejemplos de situaciones en las que se aplica el CEP:

- ¿Cuántos defectos de pintura hay en el acabado de un automóvil? ¿Se mejora el proceso de pintura al instalar un nuevo rociador?
- ¿Cuánto tarda la ejecución de pedidos del sistema comercial por internet? ¿La instalación de un nuevo servidor mejora el servicio? ¿El desempeño del sistema varía según el día?
- ¿Con qué eficiencia se mantiene la tolerancia dimensional en nuestro ensamblaje de cojinete de bolas de tres pulgadas? En vista de la variabilidad de nuestro proceso para fabricar este cojinete de bolas, ¿cuántos defectos se espera encontrar por cada millón de cojinetes fabricados?
- ¿Cuánto tiempo esperarán los clientes en su automóvil para recibir atención en nuestra ventanilla durante la atareada hora del almuerzo?

Servicio

Por lo regular, los resultados de procesos que ofrecen bienes y servicios muestran cierta variación. Esta variación se debe a muchos factores, algunos de los cuales es posible controlar y otros más son inherentes al proceso. La variación provocada por factores bien identificados y que tal vez incluso logren manejarse se conoce como **variación asignable**. Por ejemplo, una variación asignable se debe a trabajadores con distinta capacitación o por el ajuste inadecuado de una máquina. La variación inherente al proceso mismo se llama **variación común**. Esta última se conoce a menudo como *variación aleatoria,* y puede ser resultado del equipo para completar un proceso, por ejemplo.

Variación asignable

Variación común

Como indica el título de este capítulo, este material requiere comprender estadística básica. Habrá que recordar, del estudio de la estadística, cifras con distribución normal, definición de media y desviación estándar. La media ($\overline{X}$) es solo el valor promedio de un conjunto de valores. Matemáticamente, es

$$\overline{X} = \sum_{i=1}^{N} x_i / N \qquad \textbf{(9A.1)}$$

donde:

x_i = Valor observado
N = Número total de valores observados

La desviación estándar es

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \overline{X})^2}{N}} \qquad \textbf{(9A.2)}$$

Al supervisar un proceso con el CEP se toman muestras y se calculan sus estadísticas. La distribución asociada con las muestras deberá tener la misma clase de variabilidad que la distribución real del proceso, aunque la varianza real de la distribución de la muestra sea menor. Esto es adecuado porque permite la detección rápida de los cambios en la distribución real del proceso. El propósito del muestreo es encontrar en qué punto cambió el proceso de manera no aleatoria con el fin de determinar la razón del cambio en poco tiempo.

En la terminología del CEP, a menudo *sigma* se refiere a la desviación estándar de la muestra. Como se verá en los ejemplos, sigma se calcula de varias maneras, según la distribución teórica subyacente (por ejemplo, una distribución normal o una distribución de Poisson).

Variación a nuestro alrededor

En general, se acepta que conforme la variación disminuye, la calidad mejora. En ocasiones, este conocimiento es intuitivo. Si un tren llega siempre a tiempo, los horarios se pueden planear con mayor precisión. Si las tallas de ropa son consistentes es posible ahorrar tiempo haciendo pedidos por catálogo. Pero en raras ocasiones se piensa en esas cosas en términos del valor de una variabilidad baja. Con los ingenieros, el conocimiento está mejor definido. Los pistones deben caber en los cilindros, las puertas deben caber en el espacio asignado para ellas, los componentes eléctricos deben ser compatibles y las cajas de cereal deben contener la cantidad correcta de pasas; de lo contrario, la calidad será inaceptable y los clientes no quedarán satisfechos.

Sin embargo, los ingenieros saben también que es imposible tener una variabilidad de cero. Por esta razón, los diseñadores establecen especificaciones que definen no solo el valor predeterminado de algo, sino también los límites aceptables en relación con el objetivo. Por ejemplo, si el valor predeterminado de una dimensión es 10 pulgadas, las especificaciones de diseño deben ser 10.00 pulgadas ±} 0.02 pulgadas. Con esto, el departamento de manufactura sabe que, aunque la meta debe ser 10 pulgadas exactamente, cualquier medida entre 9.98 y 10.02 pulgadas es correcta. Estos límites de diseño se conocen con frecuencia como **límites de especificación superior e inferior** o **límites de tolerancia superior e inferior**.

Límites de especificación superior e inferior o límites de tolerancia superior e inferior

Una forma tradicional de interpretar una especificación de este tipo es que cualquier pieza que se encuentre dentro del rango permitido es buena, mientras que cualquier pieza que quede fuera de él es deficiente. La ilustración 9A.1*A* muestra lo anterior. (Observe que el costo es cero en todo el rango de la especificación y luego hay una diferencia significativa en el costo una vez que se viola el límite.)

Genichi Taguchi, notable experto en calidad de Japón, señala que el punto de vista tradicional que muestra la ilustración 9A.1A no tiene sentido por dos razones:

1. Desde el punto de vista del cliente, a menudo no existe prácticamente ninguna diferencia entre un producto que queda justo dentro de las especificaciones y otro que esté justo fuera de ellas. Por el contrario, la diferencia es mucho mayor en la calidad de un producto con las especificaciones meta y en la de un producto que se encuentra cerca de uno de los límites.
2. Conforme los clientes se vuelven más exigentes, surge la presión de reducir la variabilidad. Sin embargo, la ilustración 9A.1*A* no refleja esta lógica.

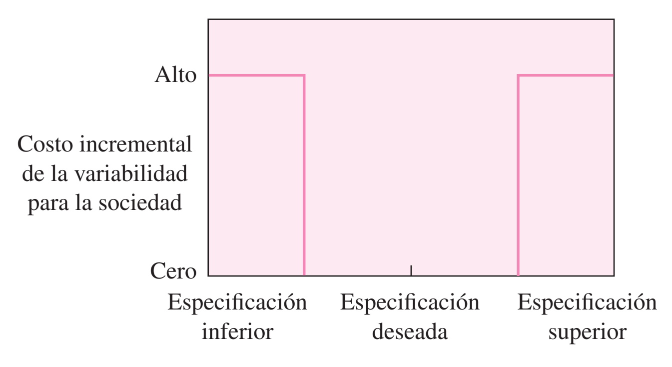
Taguchi sugiere que la ilustración 9A.1*B* muestra la pérdida en forma más correcta. Se observa que, en la gráfica, el costo se representa por una curva suave. Hay docenas de ilustraciones de esta idea: la combinación de los engranajes en una transmisión, la velocidad de una película fotográfica, la temperatura en un lugar de trabajo o en una tienda departamental. En casi todo aquello que es posible medir, el cliente no ve una línea definida, sino una degradación de la aceptabilidad conforme se aleja de la especificación "óptima". Los clientes ven la función de pérdida como en la ilustración 9A.1*B* más que como en la ilustración 9A.1*A*.

Desde luego, si los productos se eliminan en forma consistente siempre que quedan fuera de las especificaciones, la curva de pérdidas se vuelve más plana en la mayor parte de los casos hasta un valor que equivale al costo de desecho en los rangos fuera de las especificaciones. Esto se debe a que, al menos en teoría, esos productos nunca se van a vender, de modo que no existe ningún costo externo para la sociedad. Sin embargo, en muchas situaciones prácticas, el proceso es capaz de producir un porcentaje muy alto de productos dentro de las especificaciones y no se lleva a cabo una revisión de 100% o, en caso de que el proceso no pueda producir dentro de las especificaciones, se realiza una revisión de 100% y es posible volver a trabajar en los productos que no cumplen con las especificaciones a fin de que queden dentro del rango. En cualquiera de estas situaciones, la función parabólica de la pérdida casi siempre es una suposición razonable.

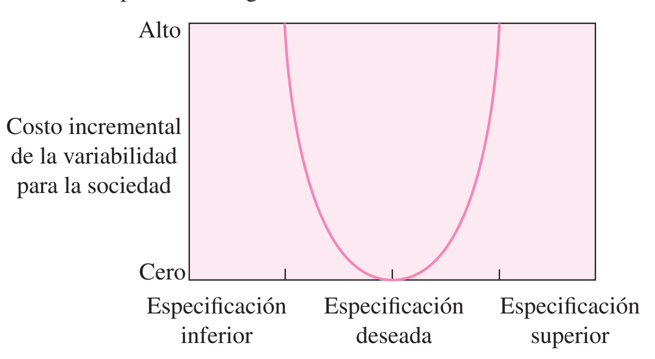
En las dos secciones siguientes se analizan dos conceptos: capacidad del proceso y gráficas de control. La capacidad del proceso se relaciona con la eficiencia del proceso al fabricar las piezas cuando funciona de manera apropiada. Con las gráficas de control se verifica en forma continua que el proceso funcione de manera apropiada.

ILUSTRACIÓN 9A.1 Perspectivas del costo de la variabilidad.

A. Perspectiva tradicional



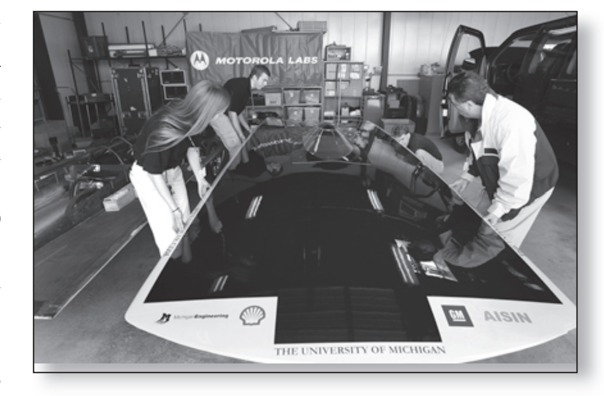
B. Perspectiva de Taguchi



Capacidad del proceso

Taguchi argumenta que el hecho de estar dentro de la tolerancia no es una decisión de sí o no, sino una función continua. Por otra parte, los expertos en calidad de Motorola señalan que el proceso para producir un bien o prestar un servicio debe ser tan eficiente que la probabilidad de generar un defecto sea muy, muy baja. Motorola popularizó la capacidad de los procesos y el diseño de productos con la adopción de los límites Six-Sigma. Al diseñar una pieza se especifica que ciertas dimensiones deben estar dentro de los límites de especificación superior e inferior.

Como ejemplo sencillo, suponga que se va a diseñar un cojinete para un eje giratorio, es decir, el eje para las llantas de un auto. Hay muchas variables tanto en el cojinete como en el eje; por ejemplo, la anchura del cojinete, el tamaño de los rodillos y del eje, la longitud del eje, cómo está sujeto, etc. El diseñador especifica las tolerancias de cada una de estas variables con el fin de garantizar que las piezas se ensamblen de manera apropiada. Suponga que en un principio se selecciona un diseño y que el diámetro del cojinete se establece en 1.250 pulgadas ± 0.005 pulgadas. Esto significa que las piezas aceptables deben tener un diámetro entre 1.245 y 1.255 pulgadas (los límites de tolerancia superior e inferior).



Después se considera el proceso para fabricar el cojinete. Se pueden elegir varios procesos para producirlo. Por lo regular, es necesario sacrificar algo al diseñar un proceso para fabricar una pieza. Por ejemplo, es probable que el proceso sea muy rápido pero no muy constante, o por el contrario, puede ser lento pero muy constante. La constancia de un proceso para producir un cojinete se mide de acuerdo con la desviación estándar de la medida del diámetro. Se puede hacer una prueba con la manufactura de, por decir, 100 cojinetes y medir el diámetro de cada cojinete de la muestra.

Digamos que, después de realizar la prueba, se descubre que el diámetro promedio o medio es de 1.250 pulgadas. Otra forma de decir lo anterior es que el proceso está "centrado" justo en medio de los límites de especificación superior e inferior. En realidad, puede ser muy difícil tener un proceso perfectamente centrado como en el ejemplo. Suponga que los valores del diámetro tienen una desviación estándar o sigma igual a 0.002 pulgadas. Esto significa que el proceso no produce cojinetes exactamente del mismo tamaño.

Como se verá más adelante en este capítulo, un proceso por lo general se supervisa mediante gráficas de control, de modo que si se empiezan a producir cojinetes que se encuentran a más de tres desviaciones estándar (±0.006 pulgadas) por encima o por debajo de 1.250 pulgadas, el proceso se interrumpe. Esto significa que se producen piezas que varían entre 1.244 [es decir, $1.250 - (3 \times 0.002)$] y 1.256 [es decir, $1.250 + (3 \times 0.002)$] pulgadas. Los límites 1.244 y 1.256 se consideran los límites más alto y más bajo del proceso. Se debe tener cuidado y no confundir la terminología. Los límites del "proceso" se relacionan con la uniformidad del proceso para fabricar los cojinetes. Al manejar el proceso, el objetivo es mantenerlo a más o menos tres des-

viaciones estándar de la media. Los límites de las "especificaciones" se relacionan con el diseño de la pieza. Cabe recordar que, desde el punto de vista del diseño, las piezas aceptables tienen un diámetro entre 1.245 y 1.255 pulgadas (los límites de especificación mínimo y máximo).

Como se aprecia, los límites de proceso son un poco mayores que las especificaciones del diseñador. Esto no es correcto porque se producirán algunas piezas que no cumplan con las especificaciones. Las empresas con procesos Six-Sigma insisten en que el proceso de fabricación de una pieza sea capaz de operar de modo que los límites de las especificaciones del diseño se encuentren a seis desviaciones estándar de la media del proceso. Para el proceso de manufactura de los cojinetes, ¿cuán pequeña debe ser la desviación estándar con el fin de que el proceso tenga una capacidad Six-Sigma? Cabe recordar que la especificación de diseño es de 1.250 pulgadas más o menos 0.005 pulgadas. Si se piensa un poco, esas 0.005 pulgadas deben tener una relación con la variabilidad del proceso. Al dividir 0.005 pulgadas entre 6, que es igual a 0.00083, se determina la desviación estándar de nuestro proceso para un proceso Six-Sigma. Así, para que este tenga una capacidad Six-Sigma, el diámetro medio producido necesita ser exactamente de 1.250 pulgadas y la desviación estándar del proceso debe ser menor o igual a 0.00083 pulgadas.

Es probable que en este punto haya confusión respecto de la simple idea de Six-Sigma. Por ejemplo, ¿por qué la empresa no revisa el diámetro de cada cojinete y desecha los que tienen un diámetro menor que 1.245 o mayor que 1.255? Esto sin duda se podría hacer, y para muchas piezas sí se realiza una prueba de 100%. El problema es que, para una compañía que produce miles de piezas cada hora, verificar todas las dimensiones críticas de cada pieza es muy costoso. Para los cojinetes, hay con facilidad 10 o más dimensiones críticas además del diámetro y habría que revisar todas y cada una de ellas. Con la estrategia de la prueba del 100%, ¡la empresa dedicaría más tiempo a probar las piezas que a fabricarlas! Por esta razón, una empresa emplea pequeñas muestras para cerciorarse en forma periódica de que el proceso se encuentre en control estadístico. Más adelante en este mismo capítulo se estudia exactamente cómo funciona el muestreo estadístico.

Se dice que un proceso es *capaz* cuando la media y la desviación estándar son operativas, de modo que los límites de control más alto y más bajo son aceptables en relación con los límites de las especificaciones superior e inferior. Considere el diagrama A en la ilustración 9A.2. Representa la distribución de la dimensión del diámetro de los cojinetes en el proceso original. El promedio o valor medio es 1.250, y las especificaciones de diseño más baja y más alta son 1.245 y 1.255, respectivamente. Los límites de control del proceso son más y menos tres desviaciones estándar (1.244 y 1.256). Observe que existe una probabilidad (áreas de color oscuro) de producir piezas defectuosas.

Si se mejora el proceso mediante la reducción de la desviación estándar relacionada con el diámetro de los cojinetes, la probabilidad baja. El diagrama B en la ilustración 9A.2 muestra un nuevo proceso en el que la desviación estándar disminuyó a 0.00083 (el área de color claro). Aunque no se ve en el diagrama, existe cierta probabilidad de que se produzca un defecto en este nuevo proceso, pero es muy, muy pequeña.

Suponga que el valor central o media del proceso se aleja de la media. La ilustración 9A.3 muestra la media con una desviación estándar más cerca del límite superior de las especificaciones. Desde luego, esto da lugar a un número un poco mayor de defectos esperados, pero se ve que el proceso es todavía muy bueno. Con el *índice de capacidad* se mide la eficiencia en la producción del proceso en relación con las tolerancias de diseño. En la siguiente sección se describe la forma de calcular este índice.

ÍNDICE DE CAPACIDAD (C_{pk})

Índice de capacidad (C_{pk})

Excel: SPC

El **índice de capacidad (C_{pk})** muestra la eficiencia con la que las piezas producidas entran en el rango que especifican los límites de diseño. Si estos límites son más altos que las tres sigmas permitidas en el proceso, la media del proceso se aleja del centro antes del reajuste y se sigue produciendo un alto porcentaje de piezas buenas.

De acuerdo con las ilustraciones 9A.2 y 9A.3, el índice de capacidad (C_{pk}) es la posición de la media y las colas del proceso en relación con las especificaciones de diseño. Mientras más se aleje del centro, mayor será la probabilidad de producir piezas defectuosas.

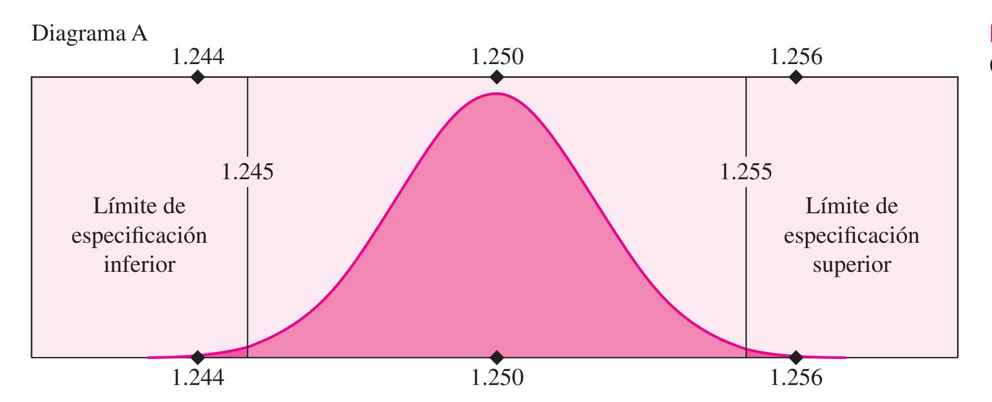
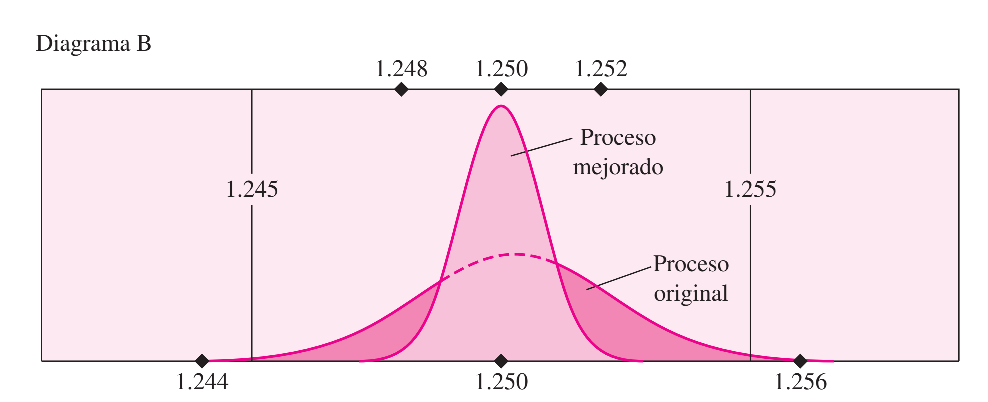


ILUSTRACIÓN 9A.2
Capacidad del proceso.



Como la media del proceso puede cambiar en cualquier dirección, la dirección del cambio y su distancia de la especificación de diseño establecen el límite en la capacidad del proceso. La dirección del cambio es hacia el número más pequeño.

De manera formal, el índice de capacidad (C_{pk}) se calcula como el número más pequeño como sigue:

$$C_{pk} = \min\left[\frac{\overline{X} - \text{LTL}}{3\sigma} \quad \text{o} \quad \frac{\text{UTL} - \overline{X}}{3\sigma}\right] \tag{9A.3}$$

Según el ejemplo de la ilustración 9A.3, supongamos que el proceso se centra en 1.251 y σ = 0.00083 (σ es el símbolo de la desviación estándar).

$$C_{pk} = \min\left[\frac{1.251 - 1.245}{3(.00083)} \quad \text{o} \quad \frac{1.255 - 1.251}{3(.00083)}\right]$$

$$= \min\left[\frac{.006}{.00249} \quad \text{o} \quad \frac{.004}{.00249}\right]$$

$$C_{pk} = \min\,[2.4 \quad \text{o} \quad 1.6]$$

C_{pk} = 1.6, que es el número menor.

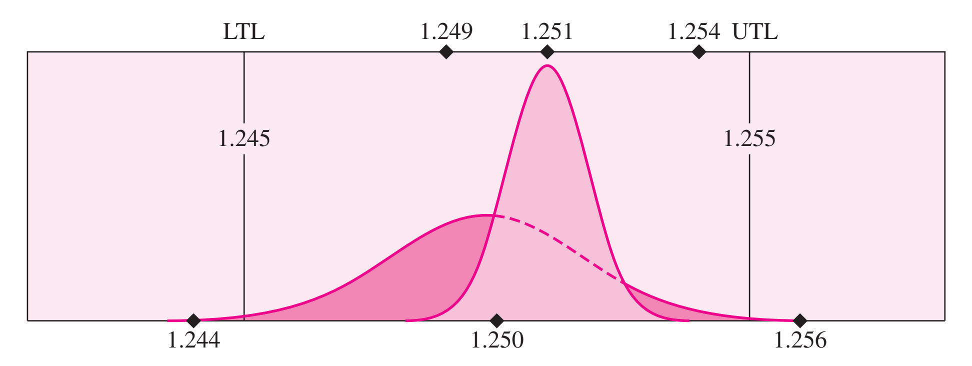


ILUSTRACIÓN 9A.3
Capacidad del proceso con un cambio en la media del proceso.

Esto indica que la media del proceso cambió a la derecha de manera similar a la ilustración 9A.3, pero las piezas se encuentran dentro de los límites del diseño.

En ocasiones, resulta útil calcular la probabilidad real de producir un defecto. Si se supone que el proceso produce con una desviación estándar constante, se trata de un cálculo muy sencillo, sobre todo si se tiene acceso a una hoja de cálculo. La estrategia consiste en calcular la probabilidad de producir una pieza que quede fuera de los límites de diseño superior e inferior dadas la media y la desviación estándar del proceso.

Según el ejemplo, donde el proceso no está centrado, con una media de 1.251 pulgadas, $\sigma = 0.00083$, LTL = 1.245 y UTL = 1.255, primero se debe de calcular el valor *Z* asociado a los límites (especificaciones) de tolerancia superior e inferior. Recuerde de sus estudios de estadística que el valor *Z* es la desviación estándar ya sea a la derecha o a la izquierda de cero en una distribución de probabilidad.

$$Z_{LTL} = \frac{LTL - \overline{X}}{\sigma} \quad Z_{UTL} = \frac{UTL - \overline{X}}{\sigma}$$

Para este ejemplo,

$$Z_{LTL} = \frac{1.245 - 1.251}{.00083} = -7.2289 \qquad Z_{UTL} = \frac{1.255 - 1.251}{.00083} = 4.8193$$

Una forma fácil de obtener las probabilidades asociadas a estos valores *Z* es usar la función NORMSDIST integrada en Excel (también puede utilizar la tabla del apéndice G). El formato de esta función es DISTR.NORM.ESTAND.N(Z), donde *Z* es el valor *Z* ya calculado. Excel genera los valores siguientes. (Se observó que quizá se obtengan resultados un poco diferentes de los proporcionados aquí según la versión de Excel.)

DISTR.NORM.ESTAND.N(Z) (–7.2289) = 2.43461E-13
y DISTR.NORM.ESTAND.N(Z) (4.8193) = 0.99999928

Para interpretar esta información se requiere entender con exactitud lo que proporciona la función DISTR.NORM.ESTAND.N(Z). DISTR.NORM.ESTAND.N(Z) da la probabilidad acumulada a la izquierda del valor *Z* dado. Como $Z = -7.2289$ es el número de desviaciones estándar relacionadas con el límite de especificación más bajo, la fracción de las piezas que se van a producir en un nivel más bajo que este es 2.43461E-13. Esta cifra se encuentra en una notación científica, y E-13 al final significa que se debe mover el punto decimal trece lugares para obtener la fracción real de piezas defectuosas. Así, esta fracción es 0.00000000000024361, ¡un número muy bajo! De igual manera, se observa que aproximadamente 0.99999928 de las piezas quedarán por debajo del límite de especificación más alto. Lo que en realidad interesa es la fracción que quedará sobre este límite, pues es el número de piezas defectuosas. Esta fracción de defectos sobre la especificación más baja es 1 − 0.99999928 = 0.00000082 de las piezas.

Al sumar estas dos fracciones de piezas defectuosas se tiene 0.00000082000024361. Esto se interpreta como que solo se espera que alrededor de 0.82 piezas por millón sean defectuosas. Es evidente que se trata de un gran proceso. Sin embargo, cuando trabaje en los problemas del final del capítulo, notará que no siempre es así.

EJEMPLO 9A.1

Paso por paso

El gerente de aseguramiento de calidad evalúa la capacidad de un proceso que inserta grasa presurizada en latas de aerosol. Las especificaciones de diseño requieren una presión promedio de 60 libras por pulgada cuadrada (psi) en cada lata con un límite de tolerancia superior de 65 psi y uno inferior de 55 psi. Se toma una muestra de la producción y se descubre que las latas tienen un promedio de 61 psi con una desviación estándar de 2 psi. ¿Cuál es la capacidad del proceso? ¿Cuál es la probabilidad de producir un defecto?

Solución

Paso 1: Se interpretan los datos del problema

$$LTL = 55 \quad UTL = 65 \quad \overline{X} = 61 \quad \sigma = 2$$

Paso 2: Se calcula el C_{pk}

$$C_{pk} = \min\left[\frac{\overline{X} - \text{LTL}}{3\sigma}, \frac{\text{UTL} - \overline{X}}{3\sigma}\right]$$

$$C_{pk} = \min\left[\frac{61 - 55}{3(2)}, \frac{65 - 61}{3(2)}\right]$$

$$C_{pk} = \min\,[1, .6667] = .6667$$

Paso 3: Se calcula la probabilidad de producir un defecto
Probabilidad de una lata con menos de 55 psi

$$Z = \frac{X - \overline{X}}{\sigma} = \frac{55 - 61}{2} = -3$$

DISTR.NORM.ESTAND.N(Z) (–3) = 0.001349898

Probabilidad de una lata con más de 65 psi

$$Z = \frac{X - \overline{X}}{\sigma} = \frac{65 - 61}{2} = 2$$

1 – DISTR.NORM.ESTAND.N(Z) (2) = 1 – .977249868 = .022750132

Probabilidad de una lata con menos de 55 psi o más de 65 psi

Probabilidad = 0.001349898 + 0.022750132 = 0.024100030

O aproximadamente 2.4% de las latas estarán defectuosas. ●

La tabla siguiente es una referencia rápida de la fracción de unidades defectuosas con diversos límites de diseño (expresados en desviaciones estándar). Esta tabla supone que la desviación estándar es constante y que el proceso está centrado exactamente entre los límites de diseño.

Límites de diseño	Piezas defectuosas	Fracción de defectos
$\pm 1\sigma$	317 por cada mil	.3173
$\pm 2\sigma$	45 por cada mil	.0455
$\pm 3\sigma$	2.7 por cada mil	.0027
$\pm 4\sigma$	63 por cada millón	.000063
$\pm 5\sigma$	574 por cada mil millones	.000000574
$\pm 6\sigma$	2 por cada mil millones	.000000002

El límite de diseño de Six-Sigma de Motorola con un cambio del proceso de 1.5σ fuera de la media ($C_{pk} = 1.5$) da 3.4 defectos por cada millón. Si la media se encuentra exactamente en el centro ($C_{pk} = 2$), entonces se esperan 2 defectos por cada *mil millones*, como muestra la tabla anterior.

Procedimientos de control de procesos

El control de procesos se ocupa de vigilar la calidad *mientras se produce el producto o servicio*. Los objetivos habituales de los planes de control de procesos son proporcionar información oportuna sobre el cumplimiento de los artículos producidos en ese momento con las especificaciones de diseño y detectar cambios en el proceso que indiquen que es probable que los productos *futuros* no cumplan con esas especificaciones. El **control estadístico del proceso (CEP)** comprende probar una muestra aleatoria de la producción de un proceso para determinar si produce artículos dentro del rango preseleccionado.

Control estadístico del proceso (CEP)

Todos los ejemplos hasta el momento se basan en características de calidad (o *variables*) mensurables, como el diámetro o el peso de una pieza. Los **atributos** son características de calidad que se clasifican conforme a su cumplimiento o incumplimiento con la especificación. Los

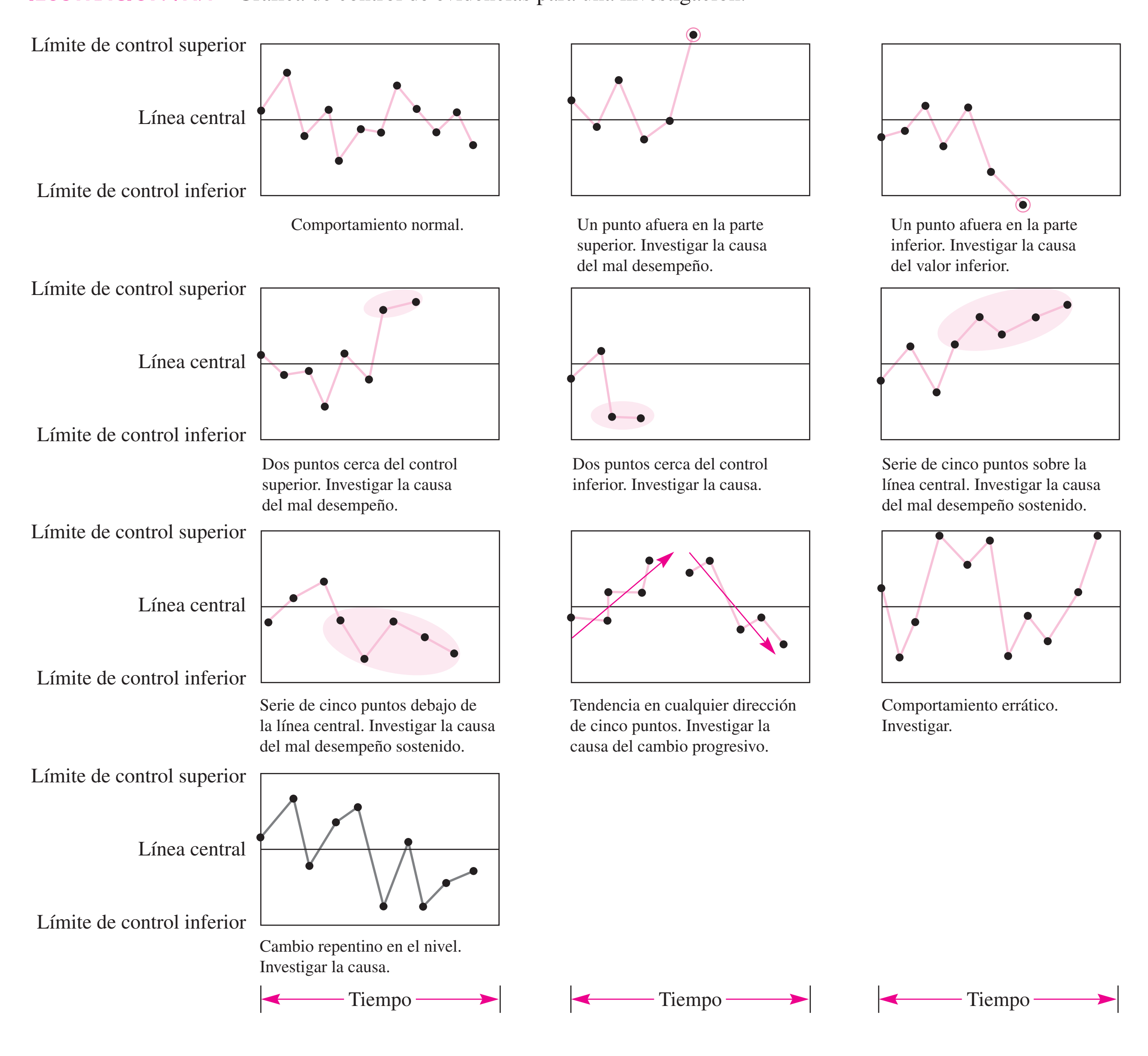
Atributos

productos o servicios se pueden observar como buenos o malos, con un funcionamiento bueno o deficiente. Por ejemplo, una podadora de césped funciona o no; alcanza cierto nivel de torque y caballos de fuerza o no lo hace. Este tipo de medición se conoce como muestreo por atributos. Por otra parte, el torque y los caballos de fuerza de una podadora se pueden medir como una cantidad de desviación de un estándar establecido. Este tipo de medición se conoce como muestreo por variables. La sección siguiente describe algunos enfoques estándar para controlar procesos: primero un enfoque para medir atributos y luego otro para medir variables. Ambas técnicas recurren a la elaboración de gráficas de control. La ilustración 9A.4 muestra algunos ejemplos de gráficas de control para entender la operación de un proceso.

CONTROL DE PROCESOS CON MEDICIONES DE ATRIBUTOS: GRÁFICAS *P*

La medición por atributos implica tomar muestras y una sola decisión: el artículo es bueno o no lo es. Como se trata de una decisión de sí o no, se crea una gráfica *p* mediante estadística simple con un límite de control superior (LCS) y un límite de control inferior (LCI). Se trazan estos límites de control en una gráfica y luego se representa la fracción de defectos de cada muestra

ILUSTRACIÓN 9A.4 Gráfica de control de evidencias para una investigación.



probada. Se supone que el proceso funciona de manera correcta cuando las muestras, que se toman periódicamente durante el día, permanecen entre los límites de control.

$$\bar{p} = \frac{\text{Número total de defectos de todas las muestras}}{\text{Número de muestras} \times \text{Tamaño de la muestra}} \quad \textbf{(9A.4)}$$

$$s_p = \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad \textbf{(9A.5)}$$

$$\text{LCS} = \bar{p} + zs_p \quad \textbf{(9A.6)}$$

$$\text{LCI} = \bar{p} - zs_p \quad \textbf{(9A.7)}$$

donde $\bar{p}$ es la fracción defectuosa, s_p es la desviación estándar, n es el tamaño de la muestra y z es el número de desviaciones estándar para una confianza específica. Por lo general, $z = 3$ (99.7% de confianza) o $z = 2.58$ (99% de confianza).

Tamaño de la muestra El tamaño de la muestra debe ser lo bastante grande para permitir el conteo del atributo. Por ejemplo, si una máquina produce 1% de defectos, una muestra de cinco unidades pocas veces capturaría un defecto. Una regla básica al crear una gráfica p es hacer que la muestra tenga el tamaño suficiente para esperar contar el atributo dos veces en cada muestra. Así, si el índice aproximado de defectos es 1%, el tamaño de la muestra apropiado sería de 200 unidades.

Una nota final: En los cálculos de las ecuaciones 9A.4 a 9A.7, se supone que el tamaño de la muestra es fijo. El cálculo de la desviación estándar depende de esta suposición. Si el tamaño de la muestra varía, es necesario calcular de nuevo la desviación estándar y los límites de control más alto y más bajo por cada muestra.

EJEMPLO 9A.2: Diseño de gráficas de control

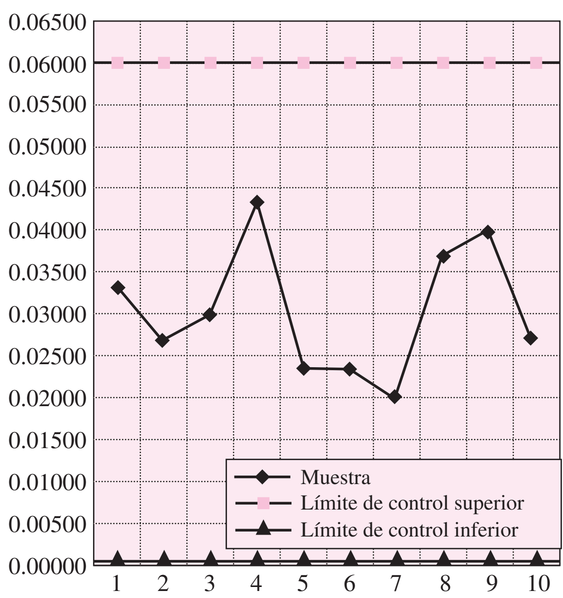
Una compañía de seguros quiere diseñar una gráfica de control para verificar que las formas de cobro de los seguros se llenen de manera correcta. Con esas gráficas, la empresa quiere saber si son eficaces las mejoras en el diseño de los formatos. Para iniciar el proceso se recopila la información sobre el número de formatos llenados de manera incorrecta durante los últimos 10 días. La compañía de seguros diario procesa miles de estos formatos y, por el alto costo de inspeccionar cada uno, solo se recopila una pequeña muestra representativa cada día. Los datos y el análisis se muestran en la ilustración 9A.5.

Paso por paso

Servicio

ILUSTRACIÓN 9A.5 Formato de cobro de la compañía de seguros.

Muestra	Cantidad inspeccionada	Cantidad de formatos mal llenados	Fracción de defectos
1	300	10	0.03333
2	300	8	0.02667
3	300	9	0.03000
4	300	13	0.04333
5	300	7	0.02333
6	300	7	0.02333
7	300	6	0.02000
8	300	11	0.03667
9	300	12	0.04000
10	300	8	0.02667
Totales	3000	91	0.03033
Desviación estándar de la muestra			0.00990



Solución

Para elaborar la gráfica de control, primero se debe calcular la fracción general de defectos de todas las muestras. Esta constituye la línea central para la gráfica de control.

$$\bar{p} = \frac{\text{Número total de defectos de todas las muestras}}{\text{Número de muestras} \times \text{Tamaño de la muestra}} = \frac{91}{3\,000} = 0.03033$$

A continuación se calcula la desviación estándar de la muestra:

$$s_p = \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} = \sqrt{\frac{0.03033(1-0.03033)}{300}} = 0.00990$$

Excel: SPC

Por último, se calculan los límites de control más alto y más bajo. Un valor z de 3 da 99.7% de confianza en que el proceso se encuentra dentro de estos límites.

$$\text{LCL} = \bar{p} + 3s_p = 0.03033 + 3(0.00990) = 0.06003$$

$$\text{LCI} = \bar{p} + 3s_p = 0.03033 + 3(0.00990) = 0.00063$$

Los cálculos en la ilustración 9A.5, con la gráfica de control, se incluyen en la hoja de cálculo SPC. ●

Control de procesos con mediciones de atributos: gráficas *c*

En el caso de la gráfica *p*, el producto era bueno o malo. En ocasiones, el producto o servicio tiene más de un defecto. Por ejemplo, una tabla vendida en un establecimiento de venta de materiales para construcción puede tener muchos nudos y, según el grado de calidad, puede o no ser defectuosa. La gráfica *c* es adecuada para supervisar la cantidad de defectos por unidad.

La distribución implícita o fundamental de la gráfica *c* es la Poisson, basada en el supuesto de que en cada unidad ocurren defectos al azar. Si c es la cantidad de defectos de una unidad particular, entonces $\bar{c}$ es el número promedio de defectos por unidad, y la desviación estándar es $\sqrt{\bar{c}}$. Para fines de nuestra gráfica de control se aplica la aproximación normal a la distribución Poisson y se elabora la gráfica con los siguientes límites de control.

$$\bar{c} = \text{Número promedio de defectos por unidad} \quad \textbf{(9A.8)}$$

$$s_p = \sqrt{\bar{c}} \quad \textbf{(9A.9)}$$

$$\text{LCS} = \bar{c} + z\sqrt{\bar{c}} \quad \textbf{(9A.10)}$$

$$\text{LCI} = \bar{c} - z\sqrt{\bar{c}} \text{ o 0 si es menor que 0} \quad \textbf{(9A.11)}$$

Igual que con la gráfica *p*, por lo común $z = 3$ (99.7 por ciento de confianza) o $z = 2.58$ (99 por ciento de confianza).

EJEMPLO 9A.3

Paso por paso

Los propietarios de un establecimiento de materiales para construcción desean diseñar una gráfica de control para supervisar la calidad de tablas de 2 × 4 que llegan del proveedor. Para sus tablas de calidad media esperan un promedio de cuatro nudos por tabla de 8 pies. Diseñe una gráfica de control que deba usar la persona que recibe las tablas con límites de tres sigmas (desviación estándar).

Solución

Para este problema, $\bar{c} = 4$, $s_p = \sqrt{\bar{c}} = 2$

$$\text{LCS} = \bar{c} + z\sqrt{\bar{c}} = 4 + 3(2) = 10$$

$$\text{LCI} = \bar{c} - \bar{z}\sqrt{c} = 4 - 3(2) = -2 \rightarrow 0$$

●

Control de procesos con mediciones de variables: gráficas $\bar{X}$ y *R*

Las gráficas $\bar{X}$ y *R* (de rango) se utilizan con frecuencia en el control estadístico de procesos.

Variables

En el muestreo por atributos se determina si algo es bueno o malo, si queda bien o no (se trata de una situación de continuar o no). Sin embargo, en la medición de **variables**, se mide el

peso, volumen, número de pulgadas o cualquier otra variable real, y se elaboran gráficas de control para determinar el grado de aceptación o rechazo del proceso con base en esas mediciones. Por ejemplo, en el muestreo por atributos, puede decidirse si se rechaza algo que pesa más de 10 libras y se acepta algo que pesa menos de 10 libras. En el muestreo por variables se mide una muestra y se registran pesos de 9.8 libras o 10.2 libras. Con estos valores se crean o modifican las gráficas de control para saber si se encuentran dentro de los límites aceptables.

Hay cuatro aspectos principales que es necesario tomar en cuenta al crear una gráfica de control: tamaño de las muestras, número de muestras, frecuencia de las muestras y límites de control.

Un supervisor y un guía de equipo examinan gráficas de control de procesos en la línea de ensamble del Ford Fiesta en Cologne-Niehl, Alemania.

Tamaño de las muestras Para aplicaciones industriales en controles de procesos que impliquen medición de variables, es preferible que las muestras sean pequeñas, por dos razones principales. En primer lugar, es necesario tomar la muestra en un periodo razonable; de lo contrario, es probable que el proceso cambie mientras se toman las muestras. Y en segundo, mientras más grande sea la muestra, cuesta más tomarla.

Al parecer, el tamaño de las muestras preferido es de cuatro o cinco unidades. Las *medias* de las muestras de este tamaño tienen una distribución aproximadamente normal sin importar la distribución de la población principal. Las muestras mayores de cinco dan límites de control más estrechos y, por tanto, mayor sensibilidad. De hecho, para detectar las variaciones más finas de un proceso quizá sea necesario utilizar muestras más extensas. Sin embargo, cuando el tamaño de las muestras excede 15 unidades más o menos, será mejor usar gráficas $\overline{X}$ con desviación estándar σ en lugar de gráficas $\overline{X}$ con el rango R, como en el ejemplo 9A.4.

Número de muestras Una vez creada la gráfica es posible comparar cada muestra tomada con la gráfica y decidir si el proceso es aceptable. Sin embargo, para elaborar las gráficas, la prudencia y las estadísticas sugieren alrededor de 25 muestras.

Frecuencia de las muestras La frecuencia con la que es necesario tomar una muestra depende del costo del muestreo (además del costo de la unidad, en caso de que se destruya como parte de la prueba) y el beneficio de ajustar el sistema. Por lo regular, es mejor empezar con el muestreo frecuente de un proceso y distanciar poco a poco las muestras conforme aumenta la confianza en el proceso. Por ejemplo, se puede empezar con una muestra de cinco unidades cada media hora y terminar con la sensación de que una muestra al día es adecuada.

Límites de control Una práctica estándar en el control estadístico del proceso para las variables es establecer límites de control de hasta tres desviaciones estándar sobre la media y tres desviaciones estándar debajo de ella. Esto significa que se espera que 99.7% de las medias de la muestra se mantengan dentro de los límites de control (es decir, en un intervalo de confianza de 99.7%). De ahí que, si la media de una muestra sale de esta banda ancha obvia, se tienen pruebas sólidas de que el proceso está fuera de control.

Cómo trazar gráficas $\overline{X}$ y R

Si se conoce la desviación estándar de la distribución del proceso, la gráfica $\overline{X}$ puede definirse como sigue:

$$\text{LCS}_{\overline{X}} = \overline{\overline{X}} + zs_{\overline{X}} \quad \text{y} \quad \text{LCI}_{\overline{X}} = \overline{\overline{X}} + zs_{\overline{X}} \qquad \textbf{(9A.12)}$$

donde

$S_{\overline{X}} = s/\sqrt{n}$ = Desviación estándar de las medias de la muestra
s = Desviación estándar de la distribución del proceso
n = Tamaño de la muestra
$\overline{\overline{X}}$ = Promedio de las medias de la muestra o un valor predeterminado para el proceso
z = Cantidad de desviaciones estándar para un nivel de confianza específico (por lo regular, $z = 3$)

Una gráfica $\overline{X}$ no es más que un diagrama de las medias de las muestras tomadas de un proceso. $\overline{\overline{X}}$ es el promedio de las medias.

En la práctica, no se conoce la desviación estándar de un proceso. Por esta razón, casi siempre se emplea información real sobre la muestra. La sección siguiente describe este enfoque práctico.

Una gráfica R es un diagrama del rango dentro de cada muestra. Este rango es la diferencia entre los números más altos y más bajos en esa muestra. Los valores R proporcionan una medida de la variación que se calcula con facilidad y se utiliza como una desviación estándar. Una gráfica $\overline{R}$ es el promedio del rango de cada muestra. Definidos de manera más específica, estos son

$$\overline{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{n} \qquad \textbf{(Igual que 9A.1)}$$

donde

$\overline{X}$ = Media de la muestra
i = Número de artículos
n = Número total de artículos en la muestra

$$\overline{\overline{X}} = \frac{\sum_{j=1}^{m} \overline{X}_j}{m} \qquad \textbf{(9A.13)}$$

donde

$\overline{\overline{X}}$ = Promedio de las medias de las muestras
j = Número de muestras
m = Número total de muestras

$$\overline{R} = \frac{\sum_{j=1}^{m} R_j}{m} \qquad \textbf{(9A.14)}$$

donde

R_j = Diferencia entre las mediciones más alta y más baja en la muestra
$\overline{R}$ = Promedio de las diferencias en las mediciones R de todas las muestras

E. L. Grant y R. Leavenworth calcularon una tabla (ilustración 9A.6) que permite calcular con facilidad los límites de control superior e inferior tanto para la gráfica $\overline{X}$ como para la gráfica R.[1] Estos se definen como

$$\text{Límite de control superior para } \overline{X} = \overline{\overline{X}} + A_2\overline{R} \qquad \textbf{(9A.15)}$$

$$\text{Límite de control inferior para } \overline{X} = \overline{\overline{X}} - A_2\overline{R} \qquad \textbf{(9A.16)}$$

$$\text{Límite de control superior para } R = D_4\overline{R} \qquad \textbf{(9A.17)}$$

$$\text{Límite de control inferior para } R = D_3\overline{R} \qquad \textbf{(9A.18)}$$

EJEMPLO 9A.4: Gráficas $\overline{X}$ y R

Paso por paso

Se quiere trazar gráficas $\overline{X}$ y R para un proceso. La ilustración 9A.7 muestra las mediciones para las 25 muestras. Las dos últimas columnas muestran el promedio de la muestra $\overline{X}$ y el rango R.

Los valores para A_2, D_3 y D_4 se obtuvieron de la ilustración 9A.6.

Límite de control superior para $\overline{X} = \overline{\overline{X}} + A_2\overline{R} = 10.21 + 0.58(0.60) = 10.56$

Límite de control inferior para $\overline{X} = \overline{\overline{X}} - A_2\overline{R} = 10.21 - 0.58(0.60) = 9.86$

Límite de control superior para $R = D_4\overline{R} = 2.11(0.60) = 1.27$

Límite de control inferior para $R = D_3\overline{R} = 0(0.60) = 0$

[1] E. L. Grant y R. S. Leavenworth, *Statistical Quality Control,* Nueva York, McGraw-Hill, 1996.

ILUSTRACIÓN 9A.6
Factor para determinar, a partir de $\overline{R}$, los tres límites de control sigma para las gráficas $\overline{X}$ y R.

Número de observaciones en el subgrupo n	Factor para la gráfica $\overline{X}$ A_2	Factores para la gráfica R: Límite de control inferior D_3	Factores para la gráfica R: Límite de control superior D_4
2	1.88	0	3.27
3	1.02	0	2.57
4	0.73	0	2.28
5	0.58	0	2.11
6	0.48	0	2.00
7	0.42	0.08	1.92
8	0.37	0.14	1.86
9	0.34	0.18	1.82
10	0.31	0.22	1.78
11	0.29	0.26	1.74
12	0.27	0.28	1.72
13	0.25	0.31	1.69
14	0.24	0.33	1.67
15	0.22	0.35	1.65
16	0.21	0.36	1.64
17	0.20	0.38	1.62
18	0.19	0.39	1.61
19	0.19	0.40	1.60
20	0.18	0.41	1.59

Límite de control superior para $\overline{X} = LCS_{\overline{X}} = \overline{\overline{X}} + A_2\overline{R}$
Límite de control inferior para $\overline{X} = LCI_{\overline{X}} = \overline{\overline{X}} - A_2\overline{R}$
Límite de control superior para $R = LCS_{\overline{X}} = D_4\overline{R}$
Límite de control inferior para $R = LCI_R = D_3\overline{R}$

Nota: Todos los factores se basan en la distribución normal.

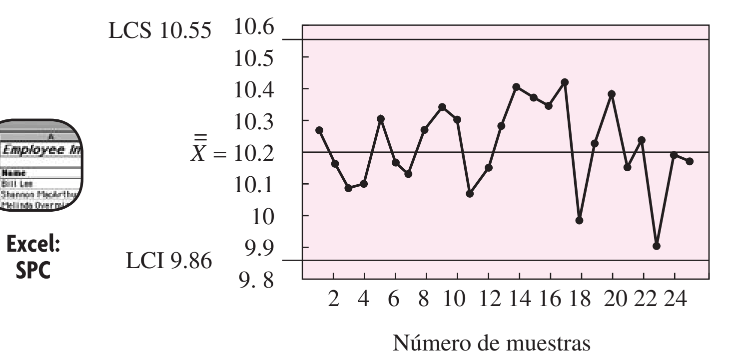
Excel: SPC

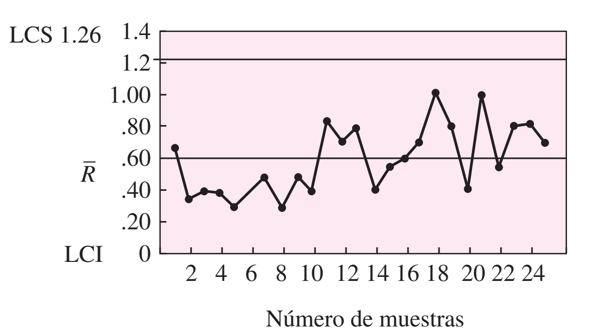
ILUSTRACIÓN 9A.7
Mediciones en las muestras de cinco unidades de un proceso.

Número de muestras	Cada unidad en una muestra					$\overline{X}$ promedio	Rango R
1	10.60	10.40	10.30	9.90	10.20	10.28	.70
2	9.98	10.25	10.05	10.23	10.33	10.17	.35
3	9.85	9.90	10.20	10.25	10.15	10.07	.40
4	10.20	10.10	10.30	9.90	9.95	10.09	.40
5	10.30	10.20	10.24	10.50	10.30	10.31	.30
6	10.10	10.30	10.20	10.30	9.90	10.16	.40
7	9.98	9.90	10.20	10.40	10.10	10.12	.50
8	10.10	10.30	10.40	10.24	10.30	10.27	.30
9	10.30	10.20	10.60	10.50	10.10	10.34	.50
10	10.30	10.40	10.50	10.10	10.20	10.30	.40
11	9.90	9.50	10.20	10.30	10.35	10.05	.85
12	10.10	10.36	10.50	9.80	9.95	10.14	.70
13	10.20	10.50	10.70	10.10	9.90	10.28	.80
14	10.20	10.60	10.50	10.30	10.40	10.40	.40
15	10.54	10.30	10.40	10.55	10.00	10.36	.55
16	10.20	10.60	10.15	10.00	10.50	10.29	.60
17	10.20	10.40	10.60	10.80	10.10	10.42	.70
18	9.90	9.50	9.90	10.50	10.00	9.96	1.00
19	10.60	10.30	10.50	9.90	9.80	10.22	.80
20	10.60	10.40	10.30	10.40	10.20	10.38	.40
21	9.90	9.60	10.50	10.10	10.60	10.14	1.00
22	9.95	10.20	10.50	10.30	10.20	10.23	.55
23	10.20	9.50	9.60	9.80	10.30	9.88	.80
24	10.30	10.60	10.30	9.90	9.80	10.18	.80
25	9.90	10.30	10.60	9.90	10.10	10.16	.70
						$\overline{\overline{X}}$ 10.21	
							$\overline{R} = 0.60$

Excel: SPC

ILUSTRACIÓN 9A.8 Gráfica $\bar{X}$ y gráfica R.





Excel: SPC

Solución

La ilustración 9A.8 muestra la gráfica $\bar{X}$ y la gráfica R con un diagrama de todas las medias de la muestra y los rangos de las muestras. Todos los puntos se encuentran dentro de los límites de control, aunque la muestra 23 está cerca del límite de control más bajo $\bar{X}$. ●

Muestreo de aceptación

DISEÑO DE UN PLAN DE MUESTREO SIMPLE PARA ATRIBUTOS

El muestreo de aceptación se realiza con bienes que ya existen para determinar el porcentaje de los productos que cumple con las especificaciones. Estos productos pueden ser artículos recibidos de otra empresa y evaluados por el departamento que los recibe, o componentes que pasaron por una etapa de procesamiento y evaluados por el personal de la empresa ya sea en producción o en la función de almacenamiento. El ejemplo siguiente se relaciona con la necesidad de una inspección.

El muestreo de aceptación se efectúa mediante un plan de muestreo. En esta sección se ilustran los procedimientos de planeación para un solo plan de muestreo; es decir, un plan en el que la evaluación de una muestra determine la calidad. (Es posible diseñar otros planes con dos o más muestras. J. M. Juran y F. M. Gryna, en *Quality Planning and Analysis*, analizan estos planes.)

Paso por paso

EJEMPLO 9A.5: Costos para justificar la inspección

Se justifica una inspección total (de 100%) cuando el costo de la pérdida en la que se incurre por no inspeccionar es mayor que el costo de inspección. Por ejemplo, un artículo defectuoso da como resultado una pérdida de 10 dólares y el porcentaje promedio de artículos defectuosos en un lote es de 3%.

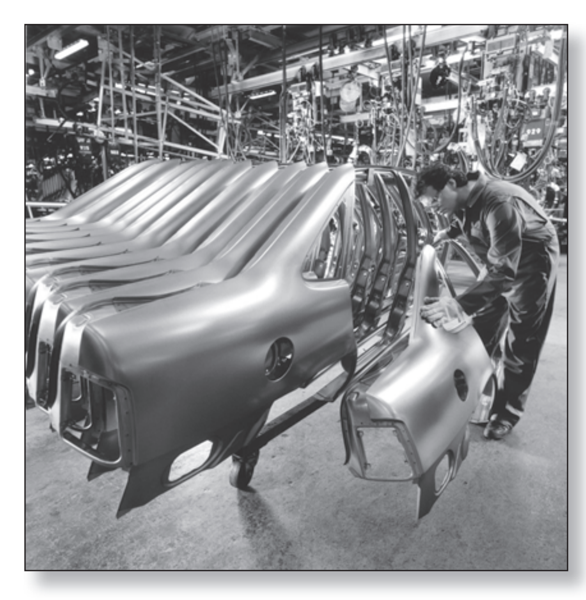
Excel: SPC

Solución

Si el porcentaje promedio de artículos defectuosos en un lote es de 3%, el costo esperado de los artículos defectuosos es de 0.03×10 dólares, o 0.30 dólares cada uno. Por tanto, si el costo de inspeccionar cada artículo es menor de 0.30 dólares, la mejor decisión es realizar una inspección de 100%. Sin embargo, no se eliminan todos los artículos defectuosos, porque los inspectores dejarán pasar algunos defectuosos y rechazarán algunos buenos.

El propósito de un plan de muestreo es probar el lote para 1) conocer su calidad o 2) garantizar que la calidad sea la que se supone que debe ser. Así, si un supervisor de control de calidad ya conoce la calidad (como los 0.03 dados en el ejemplo), no realiza el muestreo para detectar defectos. Quizá sea necesario inspeccionar todos los productos para eliminar defectos o ninguno de ellos, y el rechazo tiene lugar en el proceso. La elección solo depende del costo de la inspección y del costo en el que se incurre por no rechazar los productos defectuosos. ●

Un plan de muestreo simple se define por n y c, donde n es el número de unidades en la muestra, y c, el de aceptación. El tamaño de n puede variar de uno hasta todos los artículos del lote (casi siempre indicado con N) del que se toman las muestras. El número de aceptación c indica el número máximo de artículos defectuosos que se encuentran en una muestra antes de rechazar el lote. Los valores de n y c se determinan mediante la interacción de cuatro factores (NCA, α, PTDL y β) que cuantifican los objetivos del fabricante del producto y su consumidor. El objetivo del fabricante es asegurarse de que el plan de muestreo tenga una probabilidad baja de rechazar lotes buenos. Los lotes se definen de alta calidad si no contienen más de un nivel específico de defectos, lo que se conoce como *nivel de calidad aceptable* (NCA; en inglés, AQL*: Acceptable Quality Level*).[2] El objetivo del consumidor es asegurarse de que el plan de muestreo tenga una probabilidad baja de aceptar lotes malos. Los lotes se definen de baja calidad si el porcentaje de defectos es mayor que una cantidad específica, lo que se conoce como *porcentaje de tolerancia de defectos en el lote* (PTDL; en inglés, LTPD*: Lot Tolerance Percent Defective*). La probabilidad asociada al rechazo de un lote de alta calidad se indica con la letra griega alfa (α) y se conoce como *riesgo del productor*. La probabilidad relacionada con la aceptación de un lote de baja calidad se indica con la letra beta (β) y se llama *riesgo del consumidor*. La selección de valores particulares para NCA, α, PTDL y β se basa en sacrificios de costos, o, con mayor frecuencia, políticas empresariales o requisitos contractuales.



Inspección de láminas de aluminio a la luz de las lámparas de control de calidad en la línea de producción de aluminio de la planta de extrusión Alcoa Székesfehérvár, en Hungría.

Se cuenta una anécdota graciosa supuestamente acerca de Hewlett-Packard durante una de sus primeras negociaciones con distribuidores japoneses, quienes buscan siempre la producción de alta calidad. HP había insistido en un NCA de 2% en una compra de 100 cables. Durante el acuerdo de compra tuvo lugar una acalorada discusión en la que el distribuidor japonés no aceptaba esta especificación del NCA. HP insistió en que ellos no se moverían de 2% del NCA. El distribuidor japonés al final estuvo de acuerdo. Más adelante, cuando llegó la caja, había dos paquetes en su interior. Uno de ellos contenía 100 cables buenos y el otro tenía dos cables con una nota que decía: "Enviamos 100 cables buenos, pero como usted insistió en un NCA de 2%, anexamos dos cables defectuosos en este paquete, aunque no entendemos para qué los quiere".

El ejemplo siguiente, a partir del fragmento de una tabla de muestreo de aceptación estándar, ilustra cómo se usan los cuatro parámetros (NCA, α, PTDL y β) en la elaboración de un plan de muestreo.

EJEMPLO 9A.6: Valores de *n* y *c*

Hi-Tech Industries fabrica escáneres de radar Z-Band, para detectar trampas de velocidad. Las tarjetas de circuito impreso de los escáneres se compran a un distribuidor externo. El distribuidor produce las tarjetas con un NCA de 2% y está dispuesto a correr un riesgo de 5% (α) de que se rechacen lotes con este nivel

Paso por paso

ILUSTRACIÓN 9A.9
Fragmento de la tabla de un plan de muestreo para $\alpha = 0.05$, $\beta = 0.10$.

c	PTDL ÷ NCA	*n* · NCA	*c*	PTDL ÷ NCA	*n* · NCA
0	44.890	0.052	5	3.549	2.613
1	10.946	0.355	6	3.206	3.286
2	6.509	0.818	7	2.957	3.981
3	4.890	1.366	8	2.768	4.695
4	4.057	1.970	9	2.618	5.426

[2] Hay cierta controversia en relación con los NCA, con el argumento de que la especificación de un porcentaje aceptable de piezas defectuosas es incongruente con la meta teórica de cero defectos. En la práctica, incluso en las empresas con el mejor control de calidad, hay un nivel de calidad aceptable; la diferencia es que este se puede establecer en partes por millón en lugar de partes por cientos. Así sucede con el estándar de calidad Six-Sigma de Motorola, que sostiene que no son aceptables más de 3.4 defectos por cada millón de piezas.

o menor número de defectos. Hi-Tech considera inaceptables los lotes con 8% o más defectos (PTDL) y quiere asegurarse de que aceptará esos lotes de baja calidad no más de 10% de las veces (β). Se acaba de entregar un envío grande. ¿Qué valores de n y c se deben seleccionar para determinar la calidad de este lote?

Solución

Los parámetros del problema son NCA = 0.02, $\alpha = 0.05$, PTDL = 0.08 y $\beta = 0.10$. Con la ilustración 9A.9 se encuentran c y n.

Primero, divida PTDL entre NCA (0.08 ÷ 0.02 = 4). Luego, encuentre la razón en la columna 2 que sea igual o mayor que la cantidad (4). Este valor es 4.057, asociado a $c = 4$.

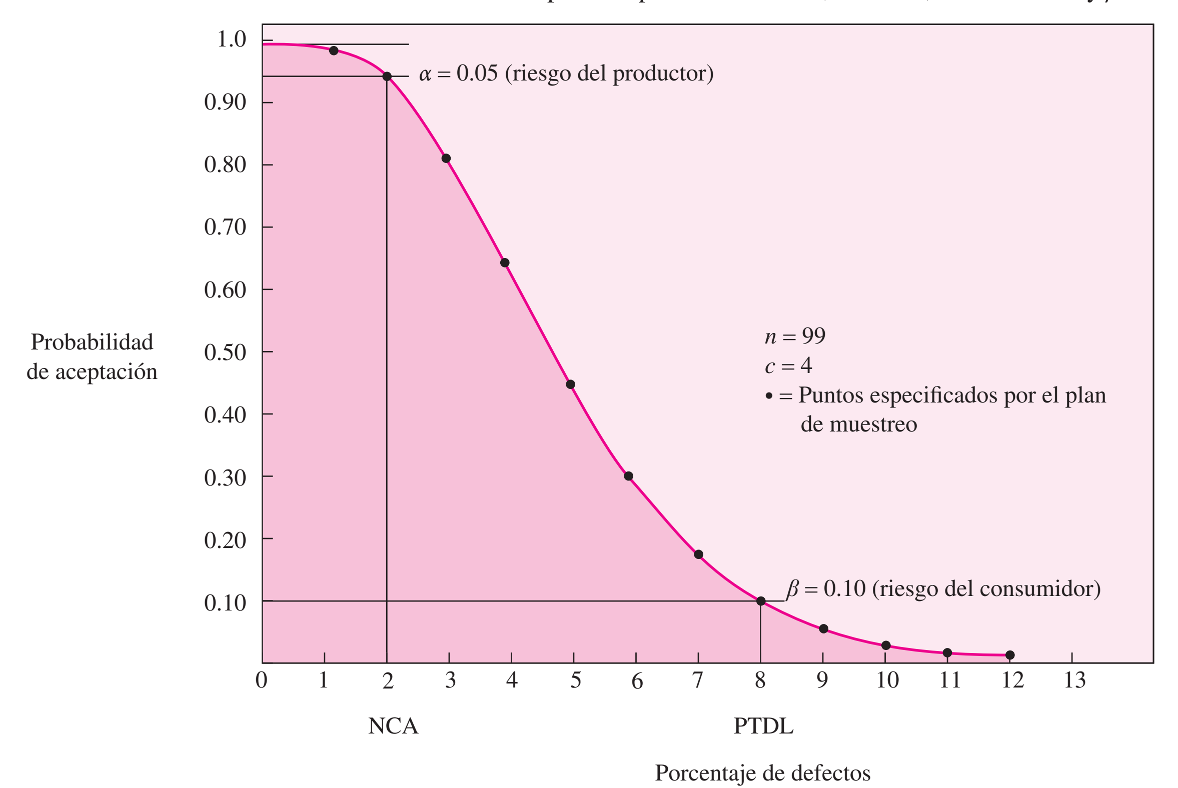
Por último, encuentre el valor en la columna 3 que esté en la misma fila que $c = 4$ y divida esa cantidad entre NCA para obtener n (1.970 ÷ 0.02 = 98.5).

El plan de muestreo adecuado es $c = 4$, $n = 99$. ●

CURVAS DE CARACTERÍSTICAS OPERATIVAS

Si bien un plan de muestreo como el recién descrito cumple con los requisitos para los valores extremos de buena y mala calidad, todavía no se puede determinar la eficiencia del plan para discriminar entre lotes buenos y malos con valores intermedios. Por esta razón, los planes de muestreo casi siempre se muestran en forma gráfica mediante curvas de características operativas (CO). Estas curvas, únicas por cada combinación de n y c, tan solo ilustran la probabilidad de aceptar lotes con diversos porcentajes de defectos. De hecho, el procedimiento con que se elaboró el plan especifica dos puntos en una curva CO: uno definido por NCA y $1 - \alpha$ y el otro por PTDL y β. Las curvas de los valores comunes de n y c se calculan u obtienen de tablas disponibles.[3]

ILUSTRACIÓN 9A.10 Curva de característica operativa para NCA = 0.02, $\alpha = 0.05$, PTDL = 0.08 y $\beta = 0.10$.



[3] Vea, por ejemplo, H. F. Dodge y H. G. Romig, *Sampling Inspection Tables—Single and Double Sampling,* Nueva York, John Wiley & Sons, 1959; y *Military Standard Sampling Procedures and Tables for Inspection by Attributes,* MIL-STD-105D, Washington, D.C., U.S. Government Printing Office, 1983.

Cómo dar forma a la curva CO Un plan de muestreo que discrimina a la perfección entre lotes buenos y malos tiene una pendiente infinita (vertical) en el valor seleccionado de NCA. En la ilustración 9A.10, todo porcentaje de defectos a la izquierda de 2% siempre se aceptaría, y los porcentajes de la derecha siempre se rechazarían. Sin embargo, una curva así solo es imaginable con la inspección completa de todas las unidades y por ende no es una posibilidad en el caso de un plan de muestreo real.

Una curva CO debe ser pronunciada en la región de mayor interés (entre el NCA y el PTDL), lo que se logra al variar *n* y *c*. Si *c* permanece constante, aumentar el tamaño de la muestra *n* provoca que la curva CO sea más vertical; en tanto que, al mantener *n* constante, disminuir *c* (el número máximo de unidades defectuosas) también hace que la curva sea más vertical, para acercarse más al origen.

Efectos del tamaño del lote El tamaño del lote del que se toma la muestra tiene un efecto relativamente leve en la calidad de la protección. Considere, por ejemplo, que las muestras (todas del mismo tamaño de 20 unidades) provienen de lotes diferentes que van desde un tamaño de 200 unidades hasta un lote de tamaño infinito. Si se sabe que cada lote tiene 5% de defectos, la probabilidad de aceptar el lote con base en la muestra de 20 unidades varía entre 0.34 y más o menos 0.36. Esto significa que mientras el tamaño del lote sea varias veces más grande que el de la muestra, en la práctica no hay ninguna diferencia en relación con el tamaño del lote. Parece algo difícil de aceptar, pero estadísticamente (en promedio a largo plazo), sin importar si se tiene un auto o una caja llenos de productos, se obtiene la misma respuesta; solo parece que un auto lleno de productos debe tener un tamaño de muestra más grande. Desde luego, esto supone que el lote se elige al azar y que los defectos están distribuidos de manera aleatoria en todo el lote.

Resumen

El control estadístico de la calidad es un tema vital. La calidad es ya tan importante que se *espera* que los procedimientos estadísticos de calidad formen parte de todas las empresas exitosas. Los planes de muestreo y el control estadístico del proceso se toman con un acento en aspectos más amplios (como eliminar el muestreo de aceptación durante la recepción de los productos en virtud de que la calidad confiable del proveedor y un mayor facultamiento de los empleados transforman gran parte del control de procesos). Las empresas manufactureras de clase mundial esperan que la gente entienda los conceptos básicos del material presentado en este capítulo.

Conceptos clave

Variación asignable Desviación en la producción de un proceso que se identifica y maneja con claridad.

Variación común Desviación en la producción de un proceso aleatoria e inherente al proceso mismo.

Límites de especificación superior e inferior o límites de tolerancia superior e inferior Rango de valores en una medida asociada a un proceso que se permiten en razón del uso para el que se diseñó un producto o servicio.

Índice de capacidad (C_{pk}) Razón del rango de valores que produce un proceso dividida entre el rango de valores permitido por la especificación de diseño.

Control estadístico del proceso (CEP) Técnicas para probar una muestra aleatoria de la producción de un proceso para determinar si genera los artículos dentro de un rango definido.

Atributos Características de calidad que se clasifican conforme a su cumplimiento con las especificaciones.

Variables Características de calidad que se miden en peso, volumen, pulgadas, centímetros o alguna otra unidad real.

Revisión de fórmulas

Media o promedio

$$\overline{X} = \sum_{i=1}^{N} x_i / N \qquad \textbf{(9A.1)}$$

Desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \overline{X})^2}{N}} \tag{9A.2}$$

Índice de capacidad

$$C_{pk} = \min\left[\frac{\overline{X} - \text{LTL}}{3\sigma} \quad \text{o} \quad \frac{\text{UTL} - \overline{X}}{3\sigma}\right] \tag{9A.3}$$

Gráficas de control de procesos con mediciones de atributos

$$\overline{p} = \frac{\text{Número total de defectos de todas las muestras}}{\text{Número de muestras} \times \text{Tamaño de la muestra}} \tag{9A.4}$$

$$s_p = \sqrt{\frac{\overline{p}(1-\overline{p})}{n}} \tag{9A.5}$$

$$\text{LCS} = \overline{p} + zs_p \tag{9A.6}$$

$$\text{LCI} = \overline{p} - zs \tag{9A.7}$$

Gráficas c de control de procesos

$$\overline{c} = \text{Número promedio de defectos por unidad} \tag{9A.8}$$

$$s_p = \sqrt{\overline{c}} \tag{9A.9}$$

$$\text{LCS} = \overline{c} + z\sqrt{\overline{c}} \tag{9A.10}$$

$$\text{LCI} = \overline{c} - z\sqrt{\overline{c}} \quad \text{o} \quad 0 \text{ si es menor que } 0 \tag{9A.11}$$

Gráficas $\overline{X}$ y R de control de procesos

$$\text{LCS}_{\overline{X}} = \overline{\overline{X}} + zs_{\overline{X}} \quad \text{y} \quad \text{LCI}_{\overline{X}} = \overline{\overline{X}} + zs_{\overline{X}} \tag{9A.12}$$

$$\overline{\overline{X}} = \frac{\sum_{j=1}^{m}\overline{X}_j}{m} \tag{9A.13}$$

$$\overline{R} = \frac{\sum_{j=1}^{m}R_j}{m} \tag{9A.14}$$

$$\text{Límite de control superior para } \overline{X} = \overline{\overline{X}} + A_2\overline{R} \tag{9A.15}$$

$$\text{Límite de control inferior para } \overline{X} = \overline{\overline{X}} - A_2\overline{R} \tag{9A.16}$$

$$\text{Límite de control superior para } R = D_4\overline{R} \tag{9A.17}$$

$$\text{Límite de control inferior para } R = D_3\overline{R} \tag{9A.18}$$

Problemas resueltos

Problema resuelto 1

Excel: SPC

Todos los días se tomaban muestras de los formatos llenos de un departamento en particular en una empresa de seguros para revisar la calidad del desempeño de ese departamento. Con el fin de establecer una norma tentativa para el departamento se tomó una muestra de 100 unidades al día durante 15 días, con los resultados siguientes:

Muestra	Tamaño de la muestra	Cantidad de formatos con errores	Muestra	Tamaño de la muestra	Cantidad de formatos con errores
1	100	4	9	100	4
2	100	3	10	100	2
3	100	5	11	100	7
4	100	0	12	100	2
5	100	2	13	100	1
6	100	8	14	100	3
7	100	1	15	100	1
8	100	3		100	

a) Elabore una gráfica *p* con un intervalo de confianza de 95% ($1.96s_p$).
b) Grafique las 15 muestras recopiladas.
c) ¿Qué puede comentar sobre el proceso?

Solución

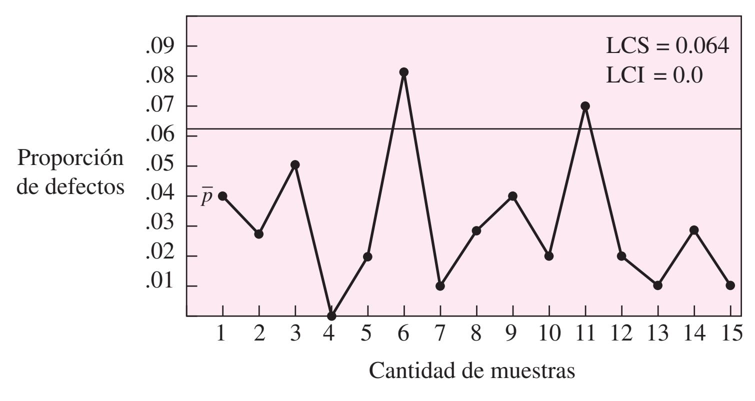
a) $\bar{p} = \frac{46}{15(100)} = 0.0307$

$$s_p = \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} = \sqrt{\frac{0.0307(1-0.0307)}{100}} = \sqrt{0.0003} = 0.017$$

$\text{LCS} = \bar{p} + 1.96s_p = 0.031 + 1.96(0.017) = 0.064$

$\text{LCI} = \bar{p} - 1.96s_p = 0.031 - 1.96(0.017) = -0.00232$ o cero

b) A continuación se diagraman los defectos.



c) De las 15 muestras, dos se apartan de los límites de control. Como estos límites se establecieron en 95%, o uno de cada 20, se diría que el proceso está fuera de control. Es necesario examinarlo para encontrar la causa de una variación tan extensa.

Problema resuelto 2

La gerencia trata de decidir si es necesario inspeccionar la pieza A, que se produce con un índice de defectos constante de 3%. Si no se inspecciona, los productos defectuosos pasarán toda la etapa de ensamblaje y tendrán que reemplazarse más adelante. Si se inspeccionan todas las piezas A, se encontrará una tercera parte de las piezas defectuosas, lo que elevará la calidad a 2% de piezas defectuosas.

a) ¿Es necesario hacer la inspección si su costo es de 0.01 dólares por unidad y el costo de reemplazo de una pieza defectuosa en el ensamblaje final es de 4 dólares?
b) Si el costo de inspección fuese de 0.05 dólares por unidad en lugar de 0.01, ¿cambiaría su respuesta en *a*)?

Solución

¿Es necesario inspeccionar la pieza A?

0.03 defectos sin inspección.
0.02 defectos con inspección.

a) Este problema se soluciona con facilidad al tomar en cuenta la oportunidad de una mejora de 1%.

Beneficio = 0.01($4.00) = $0.04
Costo de inspección = $0.01

Por tanto, se inspecciona y ahorra 0.03 dólares por unidad.

b) Un costo de inspección de 0.05 dólares por unidad sería 0.01 dólares mayor que el ahorro, de modo que no se debe realizar la inspección.

Preguntas de repaso y análisis

1. El índice de capacidad permite cierto alejamiento de la media del proceso. Analice lo que esto significa en términos de la calidad del producto.
2. Analice los propósitos y diferencias entre las gráficas *p*, las *c*, y las gráficas $\overline{X}$ y *R*.
3. En un acuerdo entre un proveedor y un cliente, el primero debe asegurarse de que todas las piezas se encuentran dentro de la tolerancia antes de enviarlas al cliente. ¿Cuál es el efecto en el costo de la calidad para el cliente?
4. En la situación descrita en la pregunta 3, ¿cuál sería el efecto sobre el costo de la calidad para el proveedor?
5. Analice la diferencia entre lograr un NCA (nivel de calidad aceptable) de cero y un NCA positivo (como un NCA de 2%).

Problemas

1. Una empresa que actualmente emplea un proceso de inspección en su departamento de recepción de materiales pretende instalar un programa de reducción general de costos. Una reducción posible es eliminar un puesto de inspección. Este puesto pone a prueba materiales con un promedio de contenido defectuoso de 0.04. Al inspeccionar todos los artículos, el inspector puede eliminar todos los defectos e inspeccionar 50 unidades por hora. El pago por hora de este puesto, incluidas prestaciones, es de 9 dólares. Si se elimina el puesto de inspección, los defectos llegarán a la línea de ensamble y será necesario reemplazar los productos defectuosos más adelante con un costo de 10 dólares cada uno, al detectarlos durante las pruebas de producto finales.
   a) ¿Se debe eliminar este puesto de inspección?
   b) ¿Cuál es el costo de inspeccionar cada unidad?
   c) ¿El proceso de inspección actual genera un beneficio (o una pérdida)? ¿De cuánto?
2. Un fabricante de productos de metal produce varillas con un diámetro exterior cuya especificación es de 1 ± 0.01 pulgadas. El operador de una máquina toma varias medidas de la muestra en varios momentos y determina que el diámetro exterior medio de la muestra es de 1.002 pulgadas con una desviación estándar de 0.003 pulgadas.
   a) Calcule el índice de capacidad del proceso para este ejemplo.
   b) ¿Qué le dice esta cifra acerca del proceso?
3. Se tomaron 10 muestras de 15 piezas cada una de un proceso continuo con el fin de establecer una gráfica *p* para control. Las muestras y el número de piezas defectuosas en cada una aparecen en la tabla siguiente:

Muestra	*n*	Número de defectos en la muestra	Muestra	*n*	Número de defectos en la muestra
1	15	3	6	15	2
2	15	1	7	15	0
3	15	0	8	15	3
4	15	0	9	15	1
5	15	0	10	15	0

   a) Elabore una gráfica *p* para una confianza de 95% (1.96 desviaciones estándar).
   b) Con base en los puntos de datos en el diagrama, ¿qué puede comentar?
4. La producción de un proceso contiene 0.02 unidades defectuosas. El reemplazo de cada unidad defectuosa que no se detecta y llega a las últimas etapas del ensamblaje tiene un costo de 25 dólares. Es posible establecer un proceso de inspección para probar las unidades que detectaría y eliminaría todas

las piezas defectuosas. Sin embargo, el inspector, quien prueba 20 unidades por hora, recibe un pago de 8 dólares la hora, prestaciones incluidas. ¿Es conveniente instalar una estación de inspección para probar todas las unidades?

a) ¿Cuánto cuesta inspeccionar cada unidad?

b) ¿Cuál es el beneficio (o la pérdida) derivado del proceso de inspección?

5. En un punto específico de un proceso de producción hay un índice de errores de 3%. Si se colocara un inspector en este punto se detectarían y eliminarían todos los errores. Sin embargo, al inspector se le pagan 8 dólares por hora e inspecciona 30 unidades por hora en el proceso.

Si no se recurre a ningún inspector y los errores pasan este punto, la corrección en una etapa posterior cuesta 10 dólares por unidad.

¿Es conveniente contratar a un inspector?

6. Una máquina automatizada de alta velocidad fabrica resistores para circuitos electrónicos. La máquina está programada para producir un lote muy numeroso de resistores de 1 000 ohms cada uno.

Con el fin de ajustar la máquina y crear una gráfica de control para utilizarla a lo largo de todo el proceso se tomaron 15 muestras con cuatro resistores cada una. La lista completa de muestras y sus valores medidos es la siguiente:

Número de la muestra	Lecturas (en ohms)			
1	1 010	991	985	986
2	995	996	1 009	994
3	990	1 003	1 015	1 008
4	1 015	1 020	1 009	998
5	1 013	1 019	1 005	993
6	994	1 001	994	1 005
7	989	993	982	1 020
8	1 001	986	996	996
9	1 006	989	1 005	1 007
10	992	1 007	1 006	979
11	996	1 006	997	989
12	1 019	996	991	1 011
13	981	991	989	1 003
14	999	993	988	984
15	1 013	1 002	1 005	992

Elabore una gráfica $\overline{X}$ y una gráfica R, y grafique los valores. Con base en las gráficas, ¿qué puede comentar sobre el proceso? (Utilice tres límites de control Sigma, como en la ilustración 9A.6.)

7. En el pasado, Alpha Corporation no realizaba inspecciones de control de calidad en los productos que recibía, sino que confiaba en sus proveedores. Sin embargo, hace poco la empresa tuvo una experiencia desagradable con la calidad de los artículos que compra y quiere establecer planes de muestreo para el departamento de recepción de productos.

Para un componente X en particular, Alpha tiene una tolerancia de defectos por lote de 10%. Zenon Corporation, empresa a la que Alpha compra este componente, tiene un nivel de calidad aceptable en sus instalaciones de producción de 3% para el componente X. Alpha tiene un riesgo para el consumidor de 10% y Zenon maneja un riesgo para el productor de 5%.

a) Al recibir un envío del Producto X de Zenon Corporation, ¿qué tamaño de muestra debe probar el departamento de recepción de productos?

b) ¿Cuál es el número de defectos permitido para aceptar el envío?

8. A usted lo acaban de nombrar asistente del administrador de un hospital de su localidad, y su primer proyecto consiste en investigar la calidad de los alimentos para pacientes que prepara el departamento correspondiente. Para ello, realizó una encuesta durante 10 días mediante un sencillo cuestionario con cada comida a 400 pacientes, en el que detallaron si los alimentos fueron satisfactorios o no. En aras de la sencillez, suponga que la respuesta fue de 1 000 cuestionarios por 1 200 comidas cada día. Los resultados son los siguientes:

	Cantidad de comidas no satisfactorias	Tamaño de la muestra
Diciembre 1	74	1 000
Diciembre 2	42	1 000
Diciembre 3	64	1 000
Diciembre 4	80	1 000
Diciembre 5	40	1 000
Diciembre 6	50	1 000
Diciembre 7	65	1 000
Diciembre 8	70	1 000
Diciembre 9	40	1 000
Diciembre 10	75	1 000
	600	10 000

a) Elabore una gráfica *p* con base en los resultados del cuestionario y un intervalo de confianza de 95.5%, que implica dos desviaciones estándar.

b) ¿Qué puede comentar acerca de los resultados de la encuesta?

9. En un departamento de una empresa de electrónica se fabrican módulos de circuitos integrados en gran escala. Estos módulos se integran a dispositivos analógicos que después se encapsulan en un material epóxico. El rendimiento no es muy bueno para la manufactura de módulos integrados en gran escala, de modo que el NCA especificado por el departamento es de 0.15, mientras que el PTDL que el departamento de ensamblaje considera aceptable es de 0.40.

a) Diseñe un plan de muestreo.

b) Explique el significado del plan de muestreo; es decir, ¿cómo diría a alguna persona que realizara la prueba?

10. Los departamentos de policía estatal y local pretenden analizar los índices delictivos con el fin de desplazar patrullas desde las áreas en las que los índices van a la baja hacia aquellas en donde se incrementan. La ciudad y el condado están divididos en áreas con 5 000 residencias. La policía reconoce que no se denuncian todos los delitos e infracciones: la gente no quiere verse involucrada, considera que no vale la pena denunciar las infracciones, no se sienten a gusto de ir a la delegación o no se dan el tiempo de hacerlo, entre otras razones. Debido a lo anterior, cada mes, la policía contacta por teléfono a una muestra aleatoria de 1 000 de las 5 000 residencias para obtener información sobre delincuencia (a quienes contestan las llamadas se les garantiza el anonimato). Estos son los datos de un área recopilados durante los últimos 12 meses:

Mes	Incidencia delictiva	Tamaño de la muestra	Índice delictivo
Enero	7	1 000	0.007
Febrero	9	1 000	0.009
Marzo	7	1 000	0.007
Abril	7	1 000	0.007
Mayo	7	1 000	0.007
Junio	9	1 000	0.009
Julio	7	1 000	0.007
Agosto	10	1 000	0.010
Septiembre	8	1 000	0.008
Octubre	11	1 000	0.011
Noviembre	10	1 000	0.010
Diciembre	8	1 000	0.008

Elabore una gráfica *p* para una confianza de 95% (1.96) y grafique cada mes. Si los siguientes tres meses muestran que la incidencia de delitos en esa área será

Enero = 10 (de 1 000 elementos en la muestra)
Febrero = 12 (de 1 000 elementos en la muestra)
Marzo = 11 (de 1 000 elementos en la muestra)

¿qué puede comentar en cuanto al índice de crímenes?

11. Algunos ciudadanos se quejaron con los miembros del ayuntamiento porque en su opinión la ley debería ofrecer una protección equitativa en contra de la delincuencia. Los ciudadanos argumentaron que esta protección equitativa se debe interpretar como la indicación de que las áreas con un índice de-

lictivo alto deben contar con mayor protección por parte de la policía que las áreas con un índice más bajo. Por tanto, se deben dedicar patrullas de policía y métodos de prevención (como alumbrado público o limpieza de áreas y edificios abandonados) en proporción a la ocurrencia de los delitos.

De modo similar al problema 10, la ciudad se dividió en 20 áreas geográficas, cada una de las cuales con 5 000 residencias. Las 1 000 residencias en la muestra de cada área mostraron el siguiente índice delictivo durante el mes anterior:

Área	Cantidad de delitos	Tamaño de la muestra	Índice delictivo
1	14	1 000	0.014
2	3	1 000	0.003
3	19	1 000	0.019
4	18	1 000	0.018
5	14	1 000	0.014
6	28	1 000	0.028
7	10	1 000	0.010
8	18	1 000	0.018
9	12	1 000	0.012
10	3	1 000	0.003
11	20	1 000	0.020
12	15	1 000	0.015
13	12	1 000	0.012
14	14	1 000	0.014
15	10	1 000	0.010
16	30	1 000	0.030
17	4	1 000	0.004
18	20	1 000	0.020
19	6	1 000	0.006
20	30	1 000	0.030
	300		

Sugiera una reubicación de los esfuerzos de protección, si lo considera apropiado, a partir del análisis de la gráfica *p*. Para que su recomendación sea más certera, seleccione un nivel de confianza de 95% (es decir, $Z = 1.96$).

12. La tabla siguiente contiene las medidas de la dimensión de longitud clave de un inyector de combustible. Estas muestras de cinco elementos se tomaron en intervalos de una hora.

	Observaciones				
Número de la muestra	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
1	0.486	0.499	0.493	0.511	0.481
2	0.499	0.506	0.516	0.494	0.529
3	0.496	0.500	0.515	0.488	0.521
4	0.495	0.506	0.483	0.487	0.489
5	0.472	0.502	0.526	0.469	0.481
6	0.473	0.495	0.507	0.493	0.506
7	0.495	0.512	0.490	0.471	0.504
8	0.525	0.501	0.498	0.474	0.485
9	0.497	0.501	0.517	0.506	0.516
10	0.495	0.505	0.516	0.511	0.497
11	0.495	0.482	0.468	0.492	0.492
12	0.483	0.459	0.526	0.506	0.522
13	0.521	0.512	0.493	0.525	0.510
14	0.487	0.521	0.507	0.501	0.500
15	0.493	0.516	0.499	0.511	0.513
16	0.473	0.506	0.479	0.480	0.523
17	0.477	0.485	0.513	0.484	0.496
18	0.515	0.493	0.493	0.485	0.475
19	0.511	0.536	0.486	0.497	0.491
20	0.509	0.490	0.470	0.504	0.512

Elabore una gráfica $\bar{X}$ tres-sigma y una gráfica R (use la ilustración 9A.6) para la longitud del inyector de combustible. ¿Qué puede decir sobre este proceso?

13. C-Spec, Inc., desea determinar si una máquina que tiene es capaz de fresar la pieza de un motor cuya especificación clave es de 4 ± 0.003 pulgadas. Después de probar esta máquina, C-Spec determinó que tiene una media de muestra de 4.001 pulgadas con una desviación estándar de 0.002 pulgadas.

a) Calcule el C_{pk} de esta máquina.

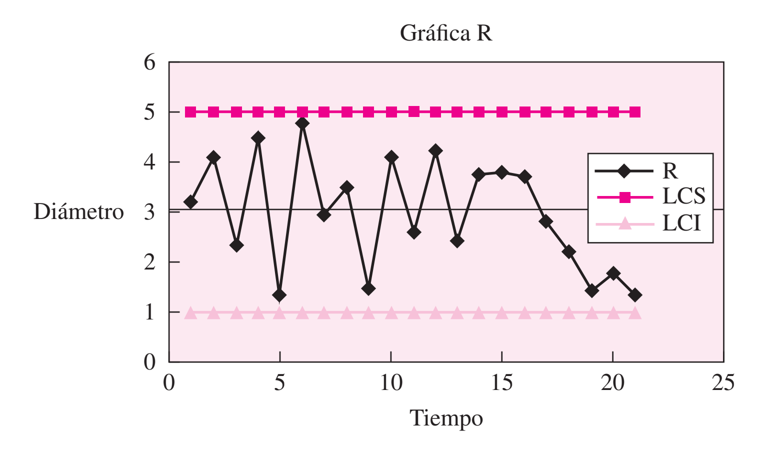
b) ¿C-Spec debe utilizar esta máquina para fabricar esta pieza? ¿Por qué?

14. El gerente de una línea de ensamblaje tomó cinco muestras, cada una con seis observaciones, en condiciones ideales, para establecer límites de control en una gráfica de barras X. La media y el rango de cada muestra aparecen en la tabla siguiente:

Número de la muestra	Media de la muestra	Rango de la muestra
1	2.18	0.33
2	2.12	0.38
3	1.86	0.40
4	1.98	0.38
5	2.02	0.35

¿Cuál sería el límite de control inferior de la desviación estándar de 3?

15. Interprete la siguiente gráfica de control y determine la acción adecuada, en caso de haberla.



16. A continuación se dan los valores de barra de $\bar{X}$ y valores de R de cinco muestras. Si el límite de control inferior para la gráfica de barra X es 8.34, ¿cuál es el tamaño de la muestra?

Muestra	Barra $\bar{X}$	R
1	8.51	0.44
2	8.37	0.58
3	8.42	0.66
4	8.61	0.47
5	8.54	0.60

Problema avanzado

17. Las especificaciones de diseño requieren que una dimensión clave de un producto mida 100 ± 10 unidades. Un proceso considerado para fabricar este producto tiene una desviación estándar de cuatro unidades.

a) ¿Qué puede decir (cuantitativamente) sobre la capacidad del proceso?

b) Suponga que el promedio del proceso cambia a 92. Calcule la nueva capacidad del proceso.

c) ¿Qué puede decir acerca del proceso después del cambio? ¿Más o menos qué porcentaje de los artículos producidos serán defectuosos?

CASO: HOT SHOT PLASTICS COMPANY

En una empresa llamada Hot Shot Plastics se producen llaveros de plástico. Primero se moldea el plástico y luego se recorta la forma necesaria. Los tiempos del curado (tiempo requerido para que el plástico se enfríe) durante el proceso de moldeado afectan la calidad de los llaveros producidos. La meta es lograr un control estadístico de los tiempos de curado mediante gráficas $\overline{X}$ y R.

Los datos sobre el tiempo de curado de 25 muestras, cada una de cuatro elementos, se tomaron cuando se suponía que el proceso estaba bajo control y se muestran a continuación (nota: la hoja de cálculo “Hot Shot Plastics.xls” contiene esta información).

Núm. de muestra	Observaciones				Media	Rango
1	27.34667	27.50085	29.94412	28.21249	28.25103	2.59745
2	27.79695	26.15006	31.21295	31.33272	29.12317	5.18266
3	33.53255	29.32971	29.70460	31.05300	30.90497	4.20284
4	37.98409	32.26942	31.91741	29.44279	32.90343	8.54130
5	33.82722	30.32543	28.38117	33.70124	31.55877	5.44605
6	29.68356	29.56677	27.23077	34.00417	30.12132	6.77340
7	32.62640	26.32030	32.07892	36.17198	31.79940	9.85168
8	30.29575	30.52868	24.43315	26.85241	28.02750	6.09553
9	28.43856	30.48251	32.43083	30.76162	30.52838	3.99227
10	28.27790	33.94916	30.47406	28.87447	30.39390	5.67126
11	26.91885	27.66133	31.46936	29.66928	28.92971	4.55051
12	28.46547	28.29937	28.99441	31.14511	29.22609	2.84574
13	32.42677	26.10410	29.47718	37.20079	31.30221	11.09669
14	28.84273	30.51801	32.23614	30.47104	30.51698	3.39341
15	30.75136	32.99922	28.08452	26.19981	29.50873	6.79941
16	31.25754	24.29473	35.46477	28.41126	29.85708	11.17004
17	31.24921	28.57954	35.00865	31.23591	31.51833	6.42911
18	31.41554	35.80049	33.60909	27.82131	32.16161	7.97918
19	32.20230	32.02005	32.71018	29.37620	31.57718	3.33398
20	26.91603	29.77775	33.92696	33.78366	31.10110	7.01093
21	35.05322	32.93284	31.51641	27.73615	31.80966	7.31707
22	32.12483	29.32853	30.99709	31.39641	30.96172	2.79630
23	30.09172	32.43938	27.84725	30.70726	30.27140	4.59213
24	30.04835	27.23709	22.01801	28.69624	26.99992	8.03034
25	29.30273	30.83735	30.82735	31.90733	30.71869	2.60460
				Medias	30.40289	5.932155

Preguntas

1. Elabore gráficas $\overline{X}$ y R con estos datos y el método descrito en el capítulo.
2. Analice la gráfica y comente si el proceso parece bajo control y estable.
3. Se recopilaron doce muestras adicionales de la información sobre el tiempo de curado del proceso de moldeado en una corrida de producción real. La información sobre estas dos muestras nuevas se incluye a continuación. Actualice sus gráficas de control y compare los resultados con los datos anteriores. Las gráficas $\overline{X}$ y R se elaboraron con los nuevos datos y los mismos límites de control establecidos antes. Comente sobre lo que muestran las nuevas gráficas.

Núm. de muestra	Observaciones				Media	Rango
1	31.65830	29.78330	31.87910	33.91250	31.80830	4.12920
2	34.46430	25.18480	37.76689	39.21143	34.15686	14.02663
3	41.34268	39.54590	29.55710	32.57350	35.75480	11.78558
4	29.47310	25.37840	25.04380	24.00350	25.97470	5.46960
5	25.46710	34.85160	30.19150	31.62220	30.53310	9.38450
6	46.25184	34.71356	41.41277	44.63319	41.75284	11.53828
7	35.44750	38.83289	33.08860	31.63490	34.75097	7.19799
8	34.55143	33.86330	35.18869	42.31515	36.47964	8.45185
9	43.43549	37.36371	38.85718	39.25132	39.72693	6.07178
10	37.05298	42.47056	35.90282	38.21905	38.41135	6.56774
11	38.57292	39.06772	32.22090	33.20200	35.76589	6.84682
12	27.03050	33.63970	26.63060	42.79176	32.52314	16.16116

Cuestionario

1. Variación que se identifica con claridad y puede manejarse.
2. Variación propia del proceso.
3. Si un proceso tiene un índice de capacidad de 1 y funciona con normalidad (centrado entre los límites de diseño), ¿qué porcentaje de las unidades se esperaría que fuera defectuoso?
4. Otra forma de ver un artículo en lugar de simplemente bueno o malo debido a que cumple o no con el límite de tolerancia.
5. Características de calidad clasificadas ya sea como apegadas o no a las especificaciones.
6. Características de calidad que se miden en realidad, como el peso de un artículo.
7. Gráfica de calidad adecuada cuando un artículo es bueno o es malo.
8. Gráfica de calidad adecuada cuando se esperan varias imperfecciones en cada unidad, como un rollo de hilo.
9. Útil para verificar calidad cuando periódicamente se adquieren grandes cantidades de un artículo y sería muy costoso verificar cada unidad por separado.
10. Gráfica que describe el riesgo del fabricante y del consumidor asociados a un plan de muestreo.

1. Variación asignable 2. Variación común 3. Los límites de diseño son $\pm 3\sigma$ o 2.7 defectos por millar 4. Función de pérdida de Taguchi 5. Atributos 6. Variables 7. Gráfica *p* 8. Gráfica *c* 9. Muestreo de aceptación 10. Curva de características operativas

Bibliografía seleccionada

Evans, J. R. y W. M. Lindsay, *Managing for Quality and Performance Excellence,* 7a. ed., Mason, Ohio, South-Western College Publications, 2007.

Juran, J. M. y F. M. Gryna, *Quality Planning and Analysis,* 2a. ed., Nueva York, McGraw-Hill, 1980.

Rath & Strong, *Rath & Strong's Six Sigma Pocket Guide,* Rath & Strong, Inc., 2000.

Small, B. B. (con comité), *Statistical Quality Control Handbook,* Western Electric Co. Inc., 1956.

Zimmerman, S. M. y M. L. Icenogel, *Statistical Quality Control; Using Excel*, 2a. ed., Milwaukee, Wisconsin, ASQ Quality Press, 2002.

Capítulo 10

PROYECTOS

El programa Constellation de la National Aeronautics and Space Administration (NASA) puede llevar hombres a la Luna para 2020

Han transcurrido más de 40 años desde que el astronauta Neil Armstrong, de Estados Unidos, posó sus pies en la Luna, el 20 de julio de 1969. Hoy en día, la política de exploración espacial de Estados Unidos demanda *"…un programa de exploración sostenido y asequible para explorar el sistema solar, inclusive un regreso a la Luna a fines de la década siguiente para establecer presencia humana ahí y abrir la vía a otros destinos, como Marte"*.

Después de leer este capítulo, usted:

1. Explicará la administración de proyectos y su importancia.
2. Identificará las diferentes formas de estructurar proyectos.
3. Describirá cómo organizar proyectos en divisiones importantes.
4. Entenderá qué son las etapas de un proyecto.
5. Determinará la "ruta crítica" de un proyecto.
6. Demostrará cómo "acelerar" un proyecto o reducir su duración.

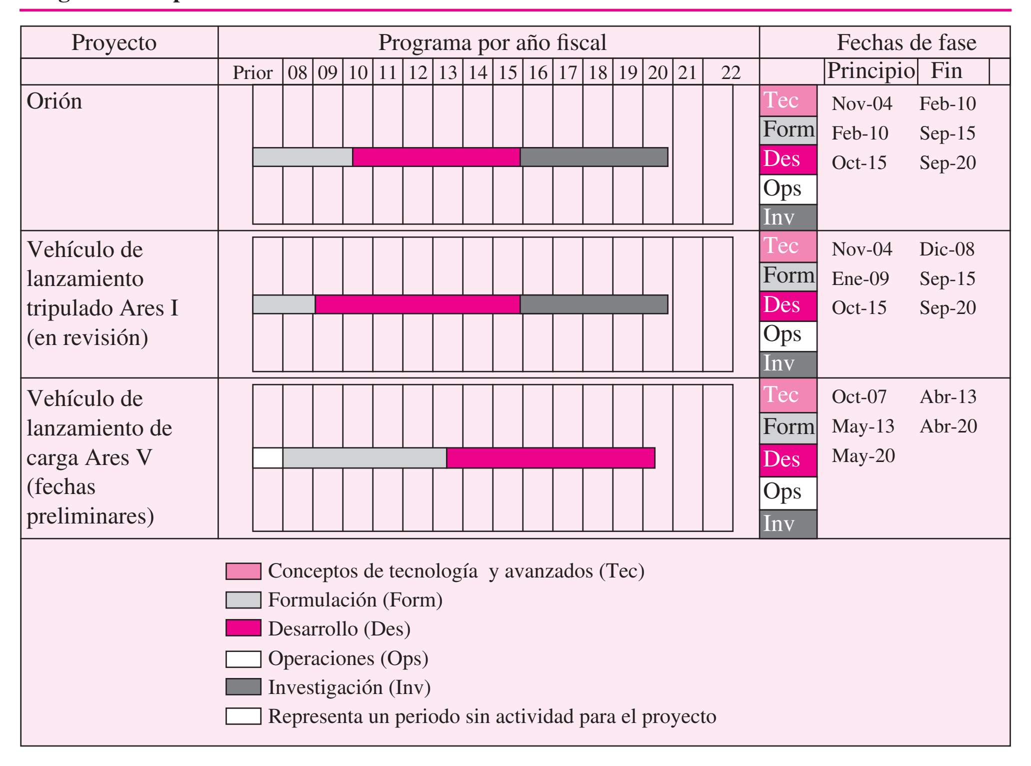
La actividad de exploración de la NASA atraviesa un periodo de transición, pues trabaja para completar la Estación Espacial Internacional y retirar la flota de transbordadores antes de 2010, al tiempo que perfecciona la siguiente generación de naves espaciales para sostener vuelos espaciales tripulados.

Para completar el objetivo de regresar a la Luna, la NASA inició el programa Constellation, el cual perfecciona y pone a prueba un conjunto de sistemas de exploración espacial, como el vehículo tripulado de exploración Orión, el vehículo de lanzamiento Ares I, destinado a impulsar el Orión a una órbita baja en la Tierra, y el Ares V, que debe llevar un vehículo de aterrizaje lunar a una órbita baja de la Tierra para acoplarse con el Orión y llevar tripulación y carga a la Luna.

El calendario de operación muestra la fecha límite de cada proyecto importante del programa. Los proyectos Orión, Ares I y Ares V se dividen en fases importantes que se inician con conceptos de Tecnología y Avanzados, Formulación, Desarrollo y Operaciones. Con las técnicas descritas en este capítulo, la NASA organiza el programa Constellation y administra los proyectos dentro del programa. Será

Fuente: NASA 2010 Budget request. http://www.nasa.gov

Programa de aplicación



interesante dar seguimiento a este programa, cuyo costo es de casi un billón de dólares, gracias al cual el hombre una vez más tendrá la oportunidad de explorar realmente nuestra galaxia.

> *El proyecto de alto impacto es la gema… la pepita de oro fundamental… la partícula atómica fundamental con la que se construirá o reconstruirá el nuevo mundo ejecutivo. Los proyectos deben ser… bueno… sensacionales.*
>
> Tom Peters

Si bien la mayor parte de este capítulo se concentra en los aspectos técnicos de una administración de proyectos (estructurar redes de proyecto y calcular la ruta crítica), como vemos en la viñeta inicial de este capítulo, sin duda los aspectos de administración son igualmente importantes. El éxito en la administración de proyectos es con mucho una actividad que requiere un control cuidadoso de recursos críticos. Dedicamos gran parte de este libro a la administración de recursos no humanos, como máquinas y materiales; sin embargo, en los proyectos, el recurso clave es con frecuencia el tiempo de los empleados. Los recursos humanos suelen ser lo más costoso, y las personas que participan en los proyectos críticos hasta el éxito de la empresa son muchas veces los administradores, consultores e ingenieros más valiosos.

En los niveles más altos de una empresa, la administración a veces hace malabares con una cartera de proyectos. Hay muchos tipos de proyectos, como el desarrollo de productos totalmente nuevos, revisiones de productos antiguos y nuevos planes de marketing, además de una amplia variedad de proyectos para atender mejor a clientes y reducir costos.

Casi todas las empresas trabajan solo con proyectos, y presionan la producción de la manera más rápida y rentable posible. Muchas de estas mismas empresas son muy buenas para aplicar las técnicas descritas en este capítulo en forma que la miríada de trabajos se ejecuta de manera impecable, pero los proyectos simplemente no dan los resultados esperados. Peor aún, lo que ocurre es que los proyectos que consumen casi todos los recursos tienen una mínima conexión con la estrategia de la empresa.

La decisión general vital se refiere a la mejor mezcla de proyectos para la empresa. Una compañía debe tener la combinación correcta de proyectos que mejor apoye su estrategia. Los proyectos deben seleccionarse a partir de los siguientes tipos: derivados (cambios incrementales,

ILUSTRACIÓN 10.1 Tipos de proyectos de desarrollo.

Más ← Cambio → Menos

	Proyectos importantes	Proyectos de plataforma	Proyectos derivados
Cambio de producto	Nuevo producto base	Adicional a familia de productos	Mejorar producto
Cambio de proceso	Nuevo proceso base	Mejorar proceso	Cambio incremental
Investigación y desarrollo	Nueva tecnología base	Mejorar tecnología	Cambio incremental
Alianza y sociedad	Actividad principal de subcontratación	Seleccionar nuevo socio	Cambio incremental

como nuevas presentaciones o versiones básicas), importantes (cambios importantes para crear mercados enteramente nuevos) o de plataforma (mejoras fundamentales a productos existentes). A los proyectos se les categoriza en cuatro grandes áreas: cambio de producto, cambio de proceso, investigación y desarrollo, y alianza y sociedad (vea la ilustración 10.1).

En este capítulo tocamos solo un poco la superficie de nuestra introducción al tema de la administración de proyectos. Los administradores profesionales de proyectos son personas capacitadas no solo en aspectos técnicos para calcular cosas como tiempos de inicio y de terminación tempranos, sino también, y no menos importante, en habilidades personales relacionadas con la motivación. Además, es crítica la capacidad para resolver conflictos cuando se presentan puntos difíciles de decisiones en un proyecto. Sin duda, dirigir proyectos exitosos es la mejor forma de aumentar las probabilidades de ascensos. Prácticamente todo trabajo de proyectos es de equipo; dirigir un proyecto es dirigir un equipo, y quienes lo forman no tardarán en advertir una dirección fructífera. Cuando las organizaciones se nivelan (por reingeniería, recortes de personal, subcontratación), más dependerá de proyectos y sus líderes para llevar a buen puerto labores que antes se manejaban dentro de departamentos.

¿Qué es la administración de un proyecto?

Un **proyecto** puede definirse como una serie de labores relacionadas, por lo general dedicada a una producción importante y cuya ejecución requiere un tiempo considerable. La **administración de un proyecto** se define como la planificación, dirección y control de recursos (humanos, de equipo, material) para satisfacer las restricciones técnicas, de costo y tiempo del proyecto.

Proyecto
Administración de un proyecto

Aunque a veces los proyectos se consideran algo que ocurre una vez, el hecho es que muchos proyectos se repiten o transfieren a otros escenarios o productos. El resultado será la producción de otro proyecto. Un contratista que construya casas o una empresa que elabore productos de volumen bajo, como supercomputadoras, locomotoras o aceleradores lineales, en efecto consideran que son proyectos.

Estructuración de proyectos

Antes de iniciar un proyecto, la alta dirección de una empresa debe elegir una de tres estructuras organizacionales para vincular el proyecto a la casa matriz: proyecto puro, funcional o matriz. A continuación examinamos los puntos fuertes y los débiles de las tres formas principales.

PROYECTO PURO

Proyecto puro

Tom Peters predice que la mayor parte del trabajo ejecutado en el mundo será "intelectual" y se realizará en redes semipermanentes de pequeños equipos orientados a proyectos, cada uno de los cuales será un centro de oportunidad autónomo dentro de la empresa, donde la necesidad de rapidez y flexibilidad pondrán en tela de juicio las estructuras jerárquicas de administración con las que crecimos nosotros y nuestros antepasados. Así, de las tres estructuras básicas organizacionales de un proyecto, Peters se inclina por el **proyecto puro** (apodado *proyecto de zorrillo*, es decir, grupo de personas pequeño y poco estructurado), conforme al cual el equipo trabaja de tiempo completo en el proyecto.

VENTAJAS

- El director del proyecto ejerce sobre él plena autoridad.
- Los miembros del equipo dependen de un jefe; no tienen que preocuparse en dividir su lealtad con un jefe de área funcional.
- Las líneas de comunicación se acortan. Las decisiones se toman rápido.
- El orgullo, motivación y entrega son altos en el equipo.

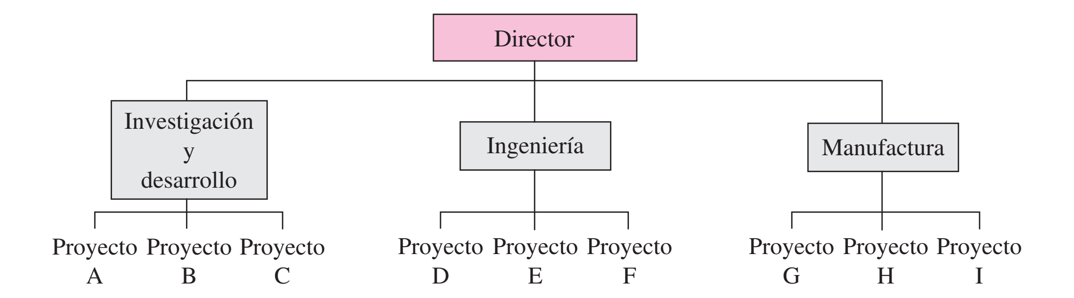
DESVENTAJAS

- Duplicación de recursos. No se comparten equipo ni personas con otros proyectos.
- Se ignoran políticas y objetivos organizacionales, porque se retira física y psicológicamente a los miembros de las oficinas centrales.
- La organización se retrasa en el conocimiento de nuevas tecnologías por el debilitamiento de divisiones funcionales.
- Como los miembros de los equipo no tienen base de área funcional, se preocupan por lo que habrá después del proyecto y se demora su terminación.

PROYECTO FUNCIONAL

Proyecto funcional

En el otro extremo del espectro de organización de proyectos está el **proyecto funcional**, que lo ubica dentro de una división funcional.



VENTAJAS

- Un miembro del equipo puede trabajar en varios proyectos.
- La experiencia técnica se mantiene dentro del área funcional aunque alguien salga del proyecto u organización.
- El área funcional es la base después de terminar el proyecto. Los especialistas funcionales avanzan verticalmente.
- Una masa crítica de expertos especializados en un área funcional crea soluciones sinérgicas para problemas técnicos de un proyecto.

DESVENTAJAS

- Se frustran los aspectos del proyecto que no tienen una relación directa con el área funcional.
- La motivación de los miembros del equipo suele ser débil.
- Las necesidades del cliente son secundarias y se les responde con tardanza.

Los proyectos de construcción más grandes del mundo

Innovación

¿Cree que remodelar su cocina es un dolor de cabeza? Imagínese supervisar uno de estos megaproyectos.

Proyecto para llevar agua del sur al norte, China

Quién lo construye: El gobierno chino.
Presupuesto: 62 mil millones de dólares (445 mil millones de yuanes).
Fecha estimada de terminación: 2050.
Qué se necesita: 400 000 personas reubicadas y un norte de China muy sediento. El desarrollo económico de las llanuras del norte de China está al alza pero su abastecimiento de agua está a la baja, muy a la baja. Las desesperadas comunidades agrarias cavan pozos de hasta 200 m en busca de agua potable, pero el gobierno chino planea cavar mucho más. A partir de una propuesta incompleta del mismísimo Mao, el Partido Comunista determinó desviar agua del Yangtzé (río del sur conocido por sus crecientes mareas) a los secos ríos del norte. De completarse esto, 12 billones de galones de agua fluirán al norte anualmente por tres canales artificiales cuya construcción se espera desplazará a casi 400 000 personas. La construcción ya está bien avanzada para los canales del este y centro, pero la ruta poniente se mantiene en la etapa de planeación debido a problemas ambientales. La cifra de $62 mil millones también hace que el proyecto Sur-Norte sea con mucho el proyecto de construcción más costoso en China, pero, tras terminar la represa de las Tres Gargantas, proyecto de 25 mil millones de dólares que forzó la reubicación de más de un millón de personas, a China ya no le sorprenden los megaproyectos costosos.

Expansión del Canal de Panamá

Quién lo construye: El gobierno de Panamá.
Presupuesto: 5.2 mil millones de dólares.
Fecha estimada de terminación: 2014.
Qué se necesita: Excavar 123 millones de metros cúbicos de material y 3 000 barcos que simplemente no caben en el canal. Lo que una vez fuera una maravilla de ingeniería, el Canal de Panamá es ya demasiado estrecho para que por ahí quepa 92% de la flota de barcos del mundo. Más de la cuarta parte de las mercancías que pasan por sus esclusas viaja en embarcaciones de tamaño Panamax, es decir, el tamaño máximo que acepta el canal. Pero, conforme a un proyecto que partió los montes, o el lecho del canal, en el verano de 2007, el Canal de Panamá pronto estará equipado con las esclusas más grandes del mundo, capaces de manejar la mayor parte de los barcos mayores que el Panamax. Además, al agregar un tercer carril de esclusas más ancho y más profundo a las dos ya existentes, el proyecto duplicará aún más la capacidad actual efectiva de 15 000 cruces por año.

Isla Cristal, Moscú

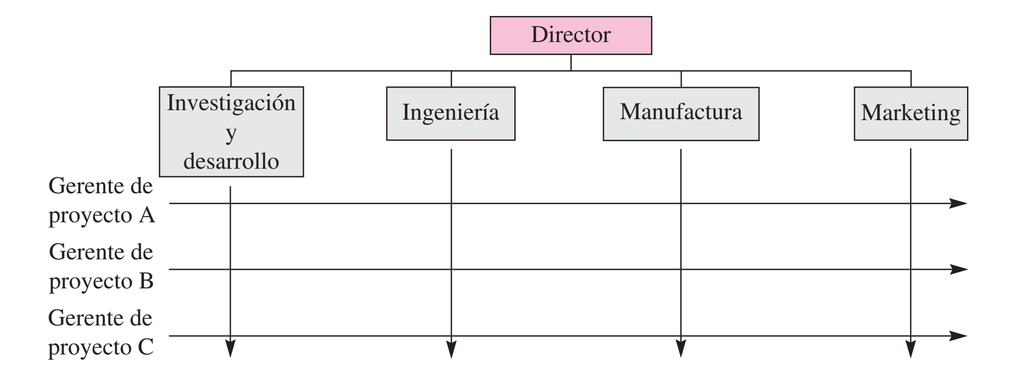
Quién lo construye: Shalva Chiriginsky, magnate petrolero y de bienes raíces.
Presupuesto: 4 mil millones de dólares (98 mil millones de rublos).
Fecha estimada de terminación: 2014.
Qué se necesita: 27 millones de pies cuadrados de espacio del río Moscú y una gran visión para lo extremo. En una ciudad en auge con proyectos financiados por la riqueza petrolera, la Isla Cristal, diseñada para ser el edificio más grande del mundo, sin duda llamará la atención de todos. Planeada como "ciudad en microcosmos", la estructura en forma de tienda de campaña, de acero y vidrio, se elevará, si se completa, a unos 1 500 pies de altura y tendrá unos 900 departamentos, 3 000 cuartos de hotel, centros comerciales, oficinas y escuelas internacionales para 500 estudiantes, un gran complejo deportivo, teatro IMAX y un sistema de paneles solares, turbinas de viento y jardines invernales aislados de manera natural, y un diseño eficiente en energía. Agregue unas cuantas cúpulas en forma de cebolla y la Isla Cristal podría sustituir a toda la ciudad de Moscú. Ocupará uno de los escasos lugares amplios que quedan cerca del centro de la ciudad: la Isla Cristal se construirá en la gran península de Nagatinskaya que penetra en el río Moscú, a menos de 8 kilómetros del Kremlin.

Fuente: http://www.foreignpolicy.com/

PROYECTO MATRIZ

Proyecto matriz

El propósito de la forma clásica organizacional especializada, "**proyecto matriz**", es mezclar las características de las estructuras de los proyectos funcional y puro. En cada proyecto participan personas de diferentes áreas funcionales. El director del proyecto elige las actividades y el momento de acometerlas, pero los gerentes funcionales controlan al personal y las tecnologías. Si se escoge la forma de matriz, los diversos proyectos (filas de la matriz) solicitan recursos de áreas funcionales (columnas). Entonces, la alta administración debe decidir si se aplica una forma de matriz débil, balanceada o fuerte. Esto determina si los gerentes de proyecto tienen poca autoridad, igual o más que los gerentes funcionales con quienes negocian recursos.



VENTAJAS

- Se mejora la comunicación entre divisiones funcionales.
- Se mantiene un gerente de proyecto responsable para la terminación exitosa del proyecto.
- Se reduce al mínimo la duplicación de recursos.
- Los miembros del equipo tienen una "base" funcional que trasciende el proyecto, de modo que les preocupa menos lo que habrá después que si se organizara como proyecto puro.
- Se siguen las políticas de la organización matriz. Esto aumenta el apoyo para el proyecto.

DESVENTAJAS

- Hay dos jefes. A veces se escucha al gerente funcional antes que al gerente de proyecto. Después de todo, ¿quién autoriza los ascensos o los aumentos?
- Está condenado al fracaso a menos que el gerente de proyecto tenga gran capacidad de negociación.
- La optimización subordinada es un peligro porque los gerentes de proyecto acumulan recursos para su propio proyecto, lo que afecta a otros proyectos.

Observe que, sin importar cuál de las tres formas principales de organización se utilice, el gerente de proyecto es el primer punto de contacto con el cliente. La comunicación y flexibilidad mejoran en gran medida porque una persona es responsable de la terminación fructífera del proyecto.

Estructura de desglose de trabajo

Un proyecto se inicia como un *enunciado de trabajo* (EDT). El EDT puede ser una descripción escrita de los objetivos, con un breve enunciado de la labor y un programa propuesto con fechas de inicio y término. Quizá contenga también medidas de operación referentes a presupuesto y pasos de terminación (etapas), así como los informes por escrito necesarios.

Una *tarea* es una subdivisión adicional de un proyecto. Suele no durar más de unos meses y su ejecución corre por cuenta de un grupo u organización. De ser necesario, se puede usar una *subtarea* para subdividir aún más el proyecto en partes más significativas.

Un *paquete de trabajo* es un grupo de actividades combinadas para asignarse a una sola unidad organizacional. Todavía cae en el formato de toda administración de proyectos; el paque-

te es una descripción de lo que se va a hacer, cuándo debe iniciarse y terminarse, presupuesto, medidas de operación, y metas específicas por cumplir en momentos determinados. Estas metas específicas se denominan **etapas de proyecto**. Las etapas de proyecto comunes pueden ser la terminación del diseño, la producción de un prototipo, la prueba terminada del prototipo y la aprobación de una corrida piloto.

Etapas de proyecto

La **estructura de desglose de trabajo** (EDDT) define la jerarquía de tareas del proyecto, subtareas y paquetes de trabajo. La terminación de uno o más paquetes de trabajo resultan en la terminación de una tarea y, por último, se requiere la terminación de todas las tareas para completar el proyecto. En la ilustración 10.2 se representa esta estructura.

Estructura de desglose de trabajo

La ilustración 10.3 muestra la EDDT para un proyecto de escáner óptico. La EDDT es importante para organizar un proyecto porque lo descompone en partes manejables. La cantidad

ILUSTRACIÓN 10.2 Ejemplo de estructura de desglose de trabajo.

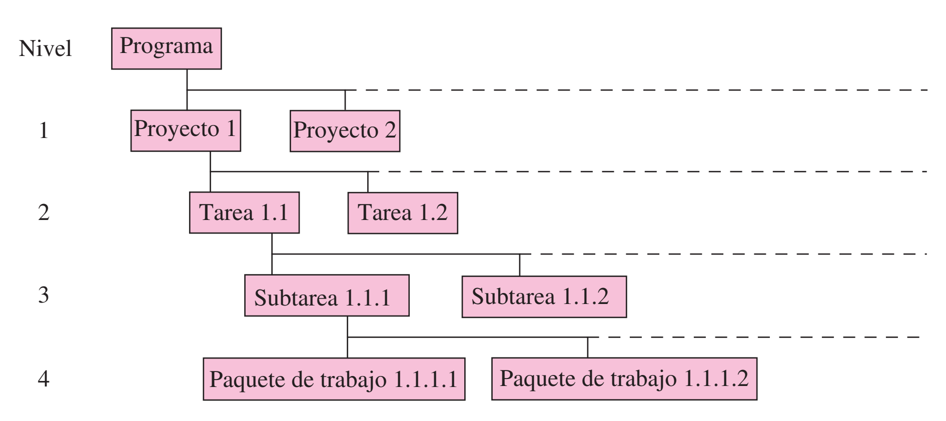


ILUSTRACIÓN 10.3 Estructura de desglose de trabajo, diseño de escáner óptico grande.

Nivel 1	2	3	4		
x				1	Diseño de simulador óptico
	x			1.1	Diseño óptico
		x		1.1.1	Diseño/fab de telescopio
		x		1.1.2	Interfaz óptica de telescopio/simulador
		x		1.1.3	Diseño del sistema de acercamiento del simulador
		x		1.1.4	Especificación del componente óptico complementario del simulador
	x			1.2	Análisis de desempeño del sistema
		x		1.2.1	Control total del firmware y software del sistema
			x	1.2.1.1	Generación y análisis del diagrama de flujo lógico
			x	1.2.1.2	Diseño básico del algoritmo de control
		x		1.2.2	Analizador del haz lejano
		x		1.2.3	Diseño del método de interalineación e intraalineación del sistema
		x		1.2.4	Requisitos de reducción y registro de datos
	x			1.3	Integración del sistema
	x			1.4	Análisis de costos
		x		1.4.1	Análisis de costo/programa del sistema
		x		1.4.2	Análisis de costo/desempeño del sistema
	x			1.5	Administración
		x		1.5.1	Administración de diseño/ingeniería del sistema
		x		1.5.2	Administración del programa
	x			1.6	Tiempo de espera para adquisición del artículo
		x		1.6.1	Óptica grande
		x		1.6.2	Componentes objetivo
		x		1.6.3	Detectores

de niveles varía según el proyecto. Cuánto detalle o cuántos niveles se han de usar depende de lo siguiente:

- El grado al que a un individuo u organización se le asigne responsabilidad y obligación para concluir el paquete de trabajo.
- El grado al que se recopile información sobre presupuesto y costos durante el proyecto.

No hay una sola estructura de desglose de trabajo (EDDT) para todos los trabajos, y dos equipos de proyecto bien pueden crear diferentes EDDT para el mismo proyecto. Algunos expertos consideran la administración de un proyecto un arte más que ciencia en virtud de tantas formas en las que se aborda un proyecto. Hallar la manera correcta de organizar un proyecto depende de la experiencia con un trabajo en particular.

Actividades

Las **actividades** se definen dentro del contexto de la estructura de desglose de trabajo y son partes del trabajo que consumen tiempo. Las actividades no necesariamente requieren trabajo de personas, si bien con frecuencia sucede así. Por ejemplo, esperar a que se seque una pintura puede ser una actividad en un proyecto. Las actividades se identifican como parte de la EDDT. En el modelo de proyecto de la ilustración 10.3, las actividades incluirían el diseño y fabricación del telescopio (1.1.1), interfaz óptica de telescopio/simulador (1.1.2) y registro de datos (1.2.4). Es necesario definir actividades de modo que, cuando se completen, el proyecto termine.

Gráficas de control de proyectos

El Departamento de Defensa de Estados Unidos (uno de los primeros grandes usuarios de administración de proyectos) publicó diversas formas estándares útiles. Muchas se utilizan directamente o modificadas por empresas relacionadas con la administración de proyectos. Con programas de cómputo se generan con rapidez las gráficas descritas en esta sección, útiles porque su presentación visual se entiende fácilmente. La ilustración 10.4 presenta una muestra de las gráficas existentes.

Gráfica de Gantt

La ilustración 10.4A es una muestra de **gráfica de Gantt**, a veces llamada *gráfica de barras*, que indica tanto el tiempo como la secuencia en que se desempeñan las actividades. Esta gráfica recibe ese nombre por Henry L. Gantt, quien ganó una cita presidencial por su aplicación de este tipo de gráfica para la construcción de barcos durante la Primera Guerra Mundial. En el ejemplo de la ilustración 10.4A, "tiempo de espera para adquisición" y "programas de manufactura" son actividades independientes y ocurren al mismo tiempo. Todas las demás actividades deben efectuarse en una secuencia descendente. La ilustración 10.4B grafica las cantidades de dinero gastadas en mano de obra, material y gastos generales. Su valor es su claridad para identificar fuentes y cantidades de costo.

La ilustración 10.4C muestra el porcentaje de las horas de mano de obra del proyecto proveniente de las áreas de manufactura, finanzas, etc. Estas horas de mano de obra se relacionan con la proporción del costo total de mano de obra del proyecto. Por ejemplo, la manufactura representa 50% de las horas de mano de obra del proyecto, pero a ese 50% se le asigna solo 40% de la cantidad total en dólares cargada.

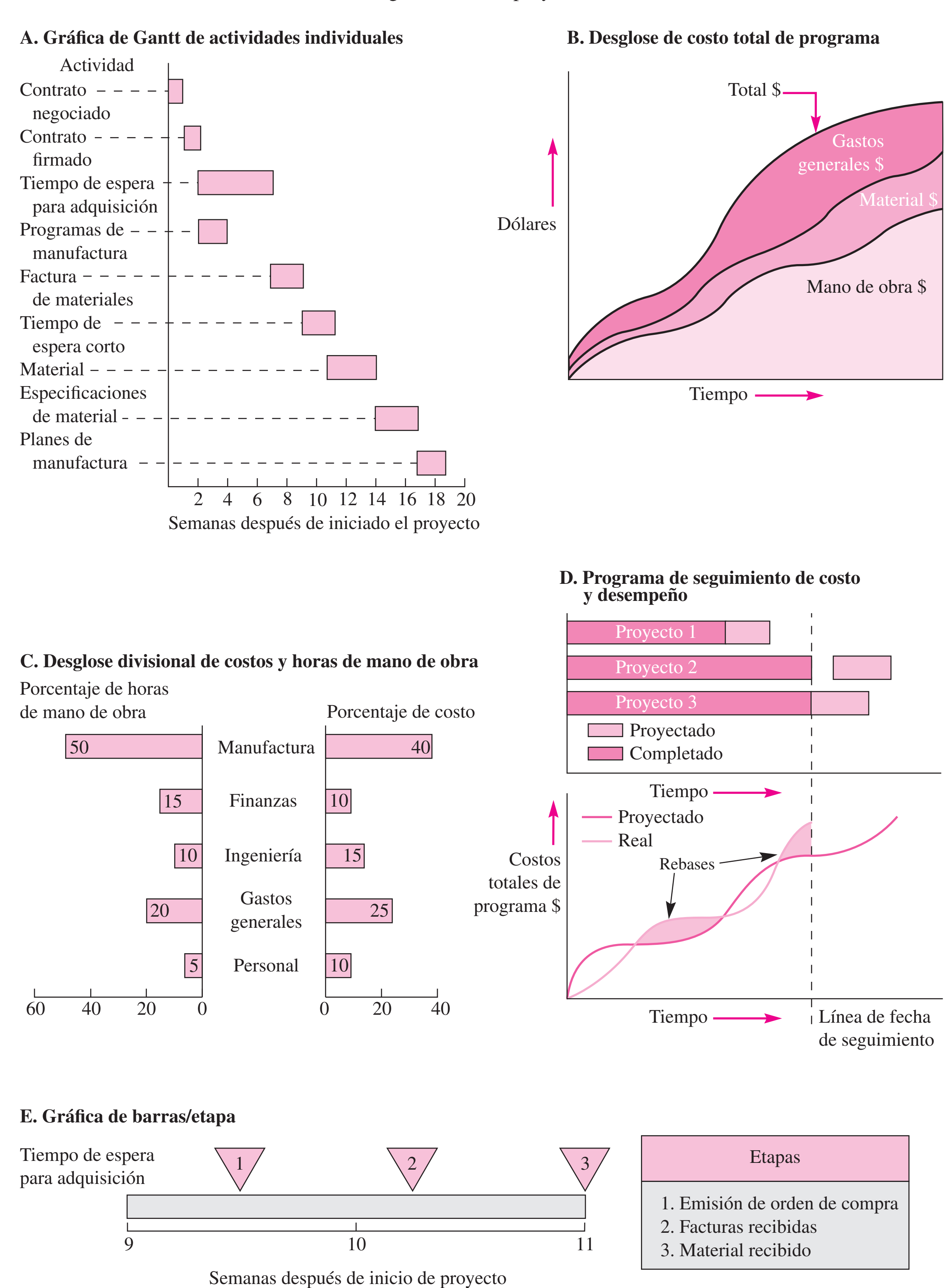
La mitad superior de la ilustración 10.4D presenta el grado de terminación de estos proyectos. La recta vertical interrumpida significa hoy. Por tanto, el Proyecto 1 ya está demorado porque todavía tiene trabajo por hacer. El Proyecto 2 no se ha trabajado temporalmente, de manera que hay un espacio antes del trabajo proyectado. El Proyecto 3 continúa en proceso sin interrupción. La parte inferior de la ilustración 10.4D compara los costos totales reales y los costos proyectados. Como vemos, se sobrepasaron dos cantidades y los costos acumulados actuales son mayores que los costos acumulados proyectados.

La ilustración 10.4E es una gráfica de etapas. Las tres etapas marcan puntos específicos del proyecto para verificar si está a tiempo y ver en dónde debe estar. El mejor lugar para localizar etapas está en la terminación de la actividad principal. En esta ilustración, las actividades principales completadas fueron "facilitar orden de compra", "facturas recibidas" y "material recibido".

Se emplean otros informes estándar para una presentación más detallada que compare costo con etapas (por ejemplo, un informe del estado del programa de costos, IEPC) o informes a

partir de los cuales se efectúen pagos parciales (por ejemplo, el informe de valor ganado, que exponemos a continuación).

ILUSTRACIÓN 10.4 Muestra de informes gráficos de un proyecto.



Administración de valor ganado

ADMINISTRACIÓN DE VALOR GANADO (AVG)

La AVG es una técnica para medir en forma objetiva el avance de un proyecto. Esta técnica tiene la capacidad de combinar mediciones de ámbito, programa o calendario y costo de un proyecto. Cuando se aplica bien, la AVG evalúa el éxito relativo de un proyecto en un momento dado. Las mediciones se aplican a proyectos dedicados a "generación de ingresos" o a "costo", según el tipo de proyecto.

Las características esenciales de toda aplicación de una AVG son

1. un plan de proyecto que identifique las actividades por lograr,
2. una evaluación del trabajo de cada actividad. Si se trata de un proyecto que genera ingresos, recibe el nombre de valor planeado (VP) de la actividad. Cuando se trata de evaluar un proyecto con base en el costo, se denomina costo presupuestado de trabajo programado (CPTP) para la actividad, y
3. "reglas de ganancia o costeo" (también llamadas métricas) definidas de antemano para cuantificar el logro del trabajo, llamado valor ganado (VG) o costo presupuestado del trabajo ejecutado (CPTE).

La terminología de las características es general porque las evaluaciones pueden basarse en una medida de valor (ingreso o utilidad) o de costo. Las aplicaciones de la AVG para proyectos grandes o complejos comprenden muchas características más, como indicadores y pronósticos de rendimiento del costo (más del presupuesto o menos del presupuesto) y operación del calendario (atrasado o adelantado). No obstante, el requisito más importante de un sistema de AVG es cuantificar el avance mediante el VP (o CPTP) y el VG (o CPTE).

Seguimiento de proyecto sin AVG Es útil ver un ejemplo de seguimiento de un proyecto que no incluya administración de desempeño de valor ganado. Considere un proyecto planeado en detalle, incluso un plan de gasto por etapas para todos los elementos de trabajo. En este caso, el proyecto se evalúa con base en el costo. La ilustración 10.5A muestra el presupuesto de costo acumulado de este proyecto como función del tiempo (la línea marcada CPTP). También muestra el costo real acumulado del proyecto (línea marcada CR) hasta la semana 8. Para quienes no conozcan bien la AVG, quizás este proyecto dé la impresión de que rebasó el presupuesto hasta la semana 4 y se mantuvo debajo de él de las semanas 6 a 8. No obstante, lo que falta en esta gráfica es una idea del trabajo avanzado durante el proyecto. Si el proyecto en realidad se terminó en la semana 8, entonces en realidad estaría muy por debajo del presupuesto y muy adelante en su calendario. Si, por otra parte, el proyecto tiene un avance de solo 10% en la semana 8, el proyecto se sobrepasó en gran medida en el presupuesto y está muy atrasado. Se necesita un método para medir de manera objetiva y cuantitativa el desempeño técnico, y eso se logra con la AVG.

Seguimiento de proyecto con AVG Considere el mismo proyecto, pero esta vez el plan incluye métodos ya definidos para cuantificar el avance del trabajo. Al término de cada semana, el gerente de proyecto identifica todo elemento detallado del trabajo completado y suma el costo presupuestado de trabajo ejecutado de cada elemento completado al estimar el porcentaje avanzado de la actividad y multiplicar por el costo presupuestado de la actividad. El costo presupuestado de trabajo ejecutado (CPTE) puede acumularse mensual o semanalmente, o conforme se avance.

La ilustración 10.5B muestra la curva CPTE junto con la curva CPTP de la gráfica A. La gráfica indica que el desempeño técnico (es decir, el avance) se inició más rápido de lo planeado pero se redujo en forma considerable y se atrasó en las semanas 7 y 8. Esta gráfica ilustra el aspecto del desempeño del programa de la AVG. Es complementario a la administración de programa de ruta crítica (que se describe en la sección siguiente).

La ilustración 10.5C muestra la misma curva de CPTE con los datos de costo real de la gráfica A. Se aprecia que el proyecto en realidad estaba por debajo del presupuesto en relación con la cantidad de trabajo logrado desde el inicio del proyecto. Esta es una conclusión mucho mejor de la que podría derivarse de la gráfica A.

La ilustración 10.5D muestra las tres curvas juntas, lo cual es una gráfica de líneas de AVG normal. La mejor forma de leer estas gráficas de tres líneas es identificar primero la curva CPTP,

ILUSTRACIÓN 10.5 Gráficas de administración de valor ganado.

Gráfica A

Costo presupuestado del trabajo ejecutado (CPTE)
Costo real (CR)

$200 000
$150 000
$100 000
$50 000
$0
CPTE
CR
El seguimiento de proyecto sin valor ganado no es concluyente
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
Tiempo (semanas)

Gráfica B

Costo presupuestado del trabajo programado (CPTP)
Costo presupuestado del trabajo ejecutado (CPTE)

$200 000
$150 000
$100 000
$50 000
$0
CPTP
Atrasado
Variación del programa ($)
CPTE
Variación del programa (tiempo)
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
Tiempo (semanas)

Gráfica C

Costo presupuestado del trabajo ejecutado (CPTE)
Costo real (CR)

$200 000
$150 000
$100 000
$50 000
$0
CPTE
Variación del costo ($)
CR
Debajo del presupuesto
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
Tiempo (semanas)

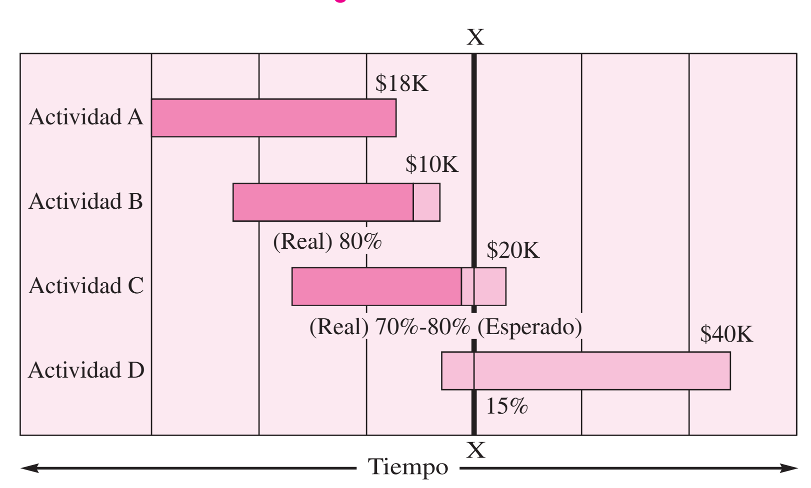
Gráfica D

Costo presupuestado de trabajo programado (CPTP)
Costo presupuestado del trabajo ejecutado (CPTE)
Costo real (CR)

$200 000
$150 000
$100 000
$50 000
$0
CPTP
CPTE
CR
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
Tiempo (semanas)

luego compararla con la CPTE (para el rendimiento del programa) y el costo real (CR) (para el rendimiento del costo). De esta ilustración se ve que un verdadero entendimiento del rendimiento del costo y rendimiento del programa *objetivamente se apoya primero en medir el desempeño técnico.* Este es el *principio fundamental* de la AVG.

EJEMPLO 10.1: Administración de valor ganado



La figura ilustra cómo determinar el costo presupuestado de trabajo programado al sumar el valor en dólares (en miles) del trabajo programado al terminar el periodo X. El costo presupuestado del trabajo ejecutado se determina al sumar el valor ganado al trabajo terminado en realidad, como se muestra en sombreado claro.

Solución

A partir del diagrama, el costo presupuestado de todo el trabajo proyectado es el siguiente: Actividad A, \$18 000; B, \$10 000; C, \$20 000; D, \$40 000. Este es el costo de cada actividad cuando se complete en su totalidad.

El proyecto está hoy en el día X y, por el diagrama, debe completarse 100% de la actividad A, y lo está; debe completarse 100% de la actividad B, pero solo 80% lo está; debe terminarse 80% de la actividad C, pero solo lo está 70%; y 15% de la actividad D, pero aún no inicia.

Paso 1: Calcule el costo presupuestado de trabajo programado (CPTP) dado el estado actual del proyecto. Este es el valor o costo del proyecto que se espera, pues el proyecto está en el tiempo X:

Actividad A – 100% de \$18K = \$18K
Actividad B – 100% de \$10K = \$10K
Actividad C – 80% de \$20K = \$16K
Actividad D – 15% de \$40K = \$6K

CPTE = \$18K + \$10K + \$16K + \$6K = \$50K

Paso 2: Calcule el costo presupuestado del trabajo ejecutado (CPTE) dado el estado actual del proyecto. Este es el valor real o costo del proyecto a la fecha, pues el proyecto está en el tiempo X:

Actividad A – 100% de \$18K = \$18K
Actividad B – 80% de \$10K = \$8K
Actividad C – 70% de \$20K = \$14K
Actividad D – 0% de \$40K = \$0

CPTE = \$18K + \$8K + \$14K + \$0K = \$40K

Paso 3: Obtenga el costo real (CR) del trabajo ejecutado. Sería necesario obtenerlo de los registros contables del proyecto. Suponga que el costo real de este proyecto a la fecha es de \$45 000.

CR = \$45 000 (datos del sistema de contabilidad)

Paso 4: Calcule las medidas básicas de desempeño del proyecto:
Variación del programa: Es la diferencia entre el costo presupuestado del trabajo ejecutado (CPTE) y el costo presupuestado de trabajo programado (CPTP) del proyecto:

Variación del programa = CPTE – CPTP
Variación del programa = \$40K – \$50K = 2\$10K

Mayor que 0 suele ser algo bueno porque implica que el proyecto está adelantado.

Índice de desempeño del programa: Es la relación entre el CPTE y el CPTP del proyecto:

Índice de desempeño del programa = CPTE/CPTP
Índice de desempeño del programa = \$40K/\$50K = 0.8

Mayor que 1 suele ser algo bueno porque implica que el proyecto está adelantado.

Variación de costo: Es la diferencia entre el CPTE y el costo real (CR):

Variación de costo = CPTE – CR
Variación de costo = \$40K – \$45K = –\$5K

Mayor que cero suele ser algo bueno porque implica que el proyecto está por debajo del presupuesto.

Índice de desempeño del costo: Es la relación entre el CPTE y el CR del proyecto a la fecha:

Índice de desempeño del costo = CPTE/CR
Índice de desempeño del costo = \$40K/\$45K = 0.89

< 1 significa que el costo de completar el trabajo es mayor que lo planeado, lo cual es malo;
= 1 significa que el costo de completar el trabajo se ajusta al plan, lo cual es bueno;
> 1 significa que el costo de completar el trabajo es menor que lo planeado, lo cual suele ser bueno.

Esto significa que el proyecto está gastando alrededor de \$1.13 por cada \$1 de trabajo presupuestado logrado. Esto no es muy bueno porque el proyecto rebasa el presupuesto y los trabajos no se completan a tiempo o conforme al presupuesto. Se desea un índice de desempeño de Programa y un índice de desempeño de costo mayores que uno. ●

Modelos de planificación de red

Los dos modelos mejor conocidos de planificación de red se idearon en la década de 1950. El método de ruta crítica (CPM) se creó para programar cierres de mantenimiento en plantas procesadoras químicas propiedad de Du Pont. Como los proyectos de mantenimiento son frecuentes en esta industria, se dispone de estimaciones de tiempo razonablemente precisas para estas actividades. El CPM parte de la premisa de que los tiempos de actividad de un proyecto se pueden estimar en forma precisa y que no varían. La técnica de evaluación y revisión de programas (PERT) se creó para el proyecto de misiles Polaris de la Armada de Estados Unidos; este fue un proyecto enorme que involucró a más de 3 000 contratistas. Como la mayor parte de las actividades nunca se había hecho antes, se elaboró el PERT para manejar estimaciones inciertas de tiempo. Al paso de los años disminuyeron las características que distinguieron al CPM respecto del PERT, de modo que aquí solo usaremos el término CPM.

El proyecto Te Apiti de Nueva Zelanda implicó la construcción de la granja eólica más grande del hemisferio sur en no más de un año desde su inicio hasta su terminación, a tiempo y conforme a su presupuesto. Con una administración de proyecto eficaz, y las herramientas y técnicas correctas, la compañía Meridian Energy fue una valiosa opción para obtener energía renovable en Nueva Zelanda, y es un punto de referencia para proyectos posteriores de granjas eólicas.

En cierto sentido, las técnicas del CPM ilustradas aquí se deben a su predecesora, la gráfica de Gantt. Si bien esta es capaz de relacionar actividades en el tiempo de modo útil para proyectos pequeños, es muy difícil visualizar con ella la relación interna de actividades, así como trabajar con proyectos de más de 25 actividades. Asimismo, la gráfica de Gantt carece de un procedimiento directo para determinar más de 25 actividades y no da un procedimiento directo para determinar la ruta crítica, cuya identificación tiene un gran valor práctico.

Ruta crítica

La **ruta crítica** de actividades en un proyecto es la secuencia de actividades que forman la cadena más larga en términos de tiempo para completarse. Si se demora cualquiera de las actividades en la ruta crítica, también lo hace todo el proyecto. Es posible y con frecuencia ocurre que haya muchas rutas de la misma longitud en la red, de modo que hay múltiples rutas críticas. Determinar la información de programación de cada actividad del proyecto es el objetivo principal de las técnicas del CPM; calculan cuándo debe iniciar y terminar una actividad, además de que determinan si la actividad es parte de la ruta crítica.

Método de ruta crítica (CPM)

A continuación se presenta un procedimiento para programar un proyecto. En este caso se utiliza una sola estimación de tiempo porque suponemos que se conocen los tiempos de la actividad. Se programará un proyecto muy sencillo para demostrar el método básico.

Considere que una tarea en grupo requiere decidir si se debe invertir en una empresa. El profesor sugiere efectuar el análisis en los cuatro pasos siguientes:

A Seleccionar una empresa.
B Obtener el informe anual de la empresa y efectuar un análisis de proporción.
C Recabar datos técnicos de precio de acciones y elaborar gráficas.
D Revisar la información individualmente y decidir en equipo si se compran acciones.

Su equipo de cuatro personas decide dividir el proyecto en cuatro actividades, como lo sugiere el profesor. Usted decide que todos los miembros del equipo deben participar en la elección de la empresa, actividad que debe tardar una semana. Se reunirán todos el fin de semana para determinar la empresa que considerará el grupo. Durante esta reunión se dividirá el grupo: dos personas serán responsables del informe anual y del análisis de proporción, y las otras dos recopilarán información técnica y elaborarán las gráficas. Un grupo espera obtener el informe anual y realizar el análisis de proporción en dos semanas, y recabar los datos del precio de la acción y generar las gráficas en una semana. Usted está de acuerdo en que los dos grupos trabajen en forma independiente. Por último, también acuerda reunirse en equipo para decidir la compra. Antes de reunirse, desea dejar una semana de margen para revisar todos los datos.

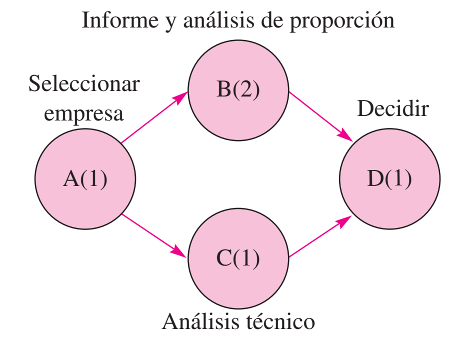
Es un proyecto sencillo, pero servirá para demostrar el método. Los siguientes son los adecuados.

1. **Identificar cada actividad del proyecto y estimar el tiempo para completarla.** Esto es fácil, con la información del profesor. Identificamos las actividades como sigue: A(1), B(2), C(1) y D(1). El número es la duración esperada de la actividad.
2. **Determinar la secuencia de actividades requerida y construir una red que refleje las relaciones de precedencia.** Una forma sencilla de hacer esto es identificar primero los **predecentes inmediatos** asociados a una actividad. Se trata de las actividades que es necesario completar de inmediato antes de otra actividad. Se requiere completar la actividad A antes de iniciar las actividades B y C. Deben completarse B y C antes de que inicie D. La tabla siguiente refleja lo que sabemos hasta ahora:

Precedentes inmediatos

Actividad	Designación	Predecentes inmediatos	Tiempo (semanas)
Seleccionar empresa	A	Ninguno	1
Obtener informe anual y ejecutar análisis de proporción	B	A	2
Recabar datos de precios accionarios y ejecutar análisis técnico	C	A	1
Revisar datos y decidir	D	B y C	1

A continuación vemos un diagrama que describe estas relaciones de precedencia:



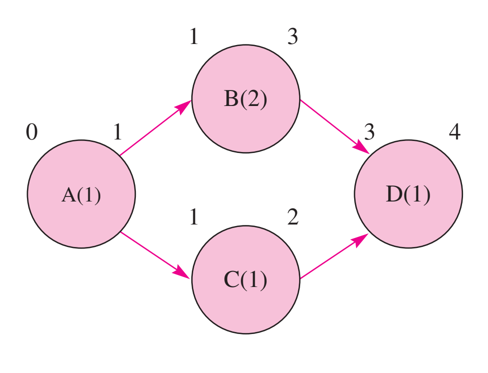
3. **Determinar la ruta crítica.** Considere cada secuencia de actividades de principio a fin del proyecto. Para nuestro sencillo proyecto hay dos rutas: A-B-D y A-C-D. La ruta crítica es aquella en la cual la suma de los tiempos de actividad sea la más larga. A-B-D tiene una duración de cuatro semanas, y A-C-D, de tres semanas. Por tanto, la ruta crítica es A-B-D. Si se demora cualquier actividad a lo largo de la ruta crítica, también lo hace todo el proyecto.
4. **Determinar el programa de inicio/terminación tempranos e inicio/terminación tardíos.** Para programar el proyecto, encuentre cuándo es necesario comenzar cada actividad y cuándo terminarla; para algunas actividades de un proyecto puede haber cierta libertad al respecto. A esto se le llama **tiempo de demora previsible** en una actividad. Para cada actividad del proyecto, calculamos cuatro momentos: tiempos de inicio temprano, terminación temprana, inicio tardío y terminación tardía. El inicio y terminación tempranos son los momentos más adelantados en que la actividad empieza y termina. Del mismo modo, el inicio y terminación tardíos son los momentos últimos en que las actividades empiezan y terminan. La diferencia entre el tiempo de inicio tardío y el tiempo de inicio temprano es el tiempo de demora previsible. Para entender mejor esto, ponemos estos números en lugares especiales alrededor de los nodos que representan cada actividad en el diagrama de red, como se muestra aquí.

Tiempo de demora previsible

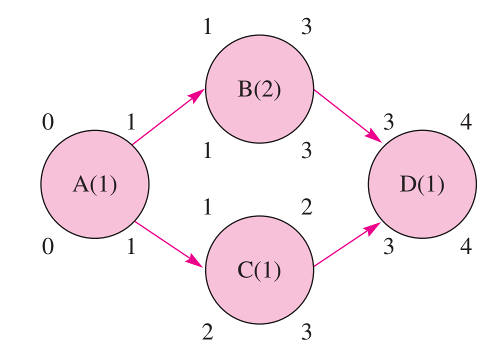
Inicio temprano | Terminación temprana
Actividad (duración)
Inicio tardío | Terminación tardía

Para calcular números se comienza desde el principio de la red y se trabaja hasta el final, con los números de inicio temprano y de terminación temprana. Se empieza por contar con el periodo actual, designado periodo 0. La actividad A tiene un

inicio temprano de 0 y una terminación temprana de 1. El inicio temprano de la actividad B es la terminación temprana de A, es decir, 1. Del mismo modo, el inicio temprano de C es 1. La terminación temprana de B es 3, y la terminación temprana de C es 2. Ahora se considera la actividad D, la cual no puede iniciar hasta que B y C se terminen. Como B no se puede efectuar hasta 3, D solo puede iniciar hasta ese momento. Por tanto, el inicio temprano de D es 3, y su terminación temprana, 4. El diagrama ahora se ve como sigue (véase a la derecha).



Para calcular los tiempos de terminación tardía e inicio tardío se empieza desde el final de la red y se trabaja hacia el principio. Se considera la actividad D. Lo más pronto que se puede hacer es en el momento 4; y si no se desea demorar la terminación del proyecto, la terminación tardía tiene que establecerse en 4. Con una duración de 1, lo más tarde que D puede iniciar es 3. Ahora se ve la actividad C, la cual debe terminarse para el momento 3 de modo que D pueda iniciar; así, el tiempo de terminación tardía de C es 3, y su tiempo de inicio tardío, 2. Observe la diferencia entre los momentos temprano y tardío de inicio y terminación: esta actividad tiene una semana de demora previsible. La actividad B debe terminarse para el momento 3 de modo que pueda iniciar D, por lo que su momento tardío de terminación es 3, y su tiempo de inicio tardío, 1. No hay tiempo de demora previsible en B. Por último, la actividad A debe terminarse para que inicien B y C. Como B debe iniciar antes que C y A debe terminar a tiempo para que empiece B, el tiempo de terminación tardío para A es 1. Finalmente, el tiempo de inicio tardío de A es 0. Vea que no hay tiempo de demora previsible en las actividades A, B y D. La red final se presenta a continuación. (Ojalá que su equipo de inversiones haya elegido las acciones ganadoras.)



EJEMPLO 10.2: Método de ruta crítica

Muchas empresas que intentan entrar en el mercado de las minicomputadoras portátiles fracasan. Suponga que la suya piensa que hay una gran demanda en este mercado porque los productos existentes no se diseñaron bien: son demasiado pesadas, grandes o pequeñas para los teclados de tamaño normal. Su pretendida computadora será lo bastante pequeña para llevarla en el bolsillo interior de una chaqueta. El tamaño ideal no será mayor a 13 × 24 × 3 centímetros, con un teclado plegable. No debe pesar más de 420 gramos y debe tener pantalla de cristal líquido, disco duro tamaño micro y conexión inalámbrica. Esto debe ser atractivo para negociantes viajeros, pero puede tener un mercado mucho más amplio, como el de los estudiantes. Su precio debe ubicarse entre 175 y 200 dólares.

Excel: Administración de proyectos

Así, el proyecto es diseñar, crear y producir un prototipo de esta minicomputadora. En la rápidamente cambiante industria de las computadoras, es de importancia crítica llegar al mercado con un producto de esta clase en menos de un año. Por tanto, al equipo del proyecto se le concedieron alrededor de ocho meses (35 semanas) para producir el prototipo.

Paso por paso

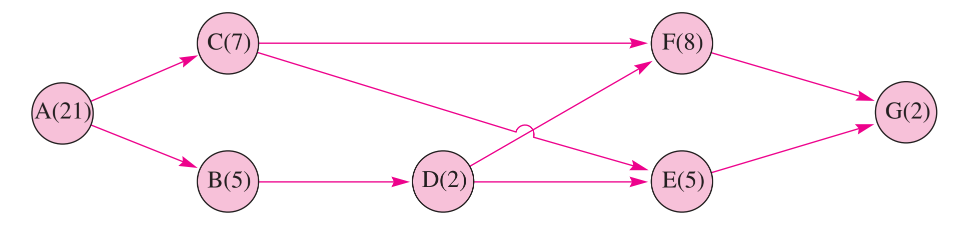
Solución

El primer encargo del equipo del proyecto es crear una gráfica de red del proyecto y determinar si es posible completar el prototipo de computadora antes de la meta de 35 semanas. Se siguen los pasos en el desarrollo de la red.

1. **Identificación de actividad.** El equipo del proyecto determina las siguientes actividades como componentes principales del proyecto: diseño de la computadora, construcción del prototipo, prueba del prototipo, métodos de especificación (resumidos en un informe), estudios de evaluación del equipo automático de ensamble, informe del estudio del equipo de ensamble e informe final que abarque todos los aspectos de diseño, equipo y métodos.
2. **Secuencia de actividades y construcción de la red.** A partir de pláticas con el personal, el gerente del proyecto perfecciona la tabla de prioridades y la red de secuencia que se presenta en la ilustración 10.6. Cuando construya una red, tenga cuidado de asegurarse de ubicar las actividades en el orden apropiado y mantener la lógica de sus relaciones. Por ejemplo, sería ilógica una situación en la que el suceso A preceda al B, B preceda a C y C a A.
3. **Determinar la ruta crítica.** La ruta crítica es la secuencia más extensa de actividades conectadas por la red y se define como la ruta con cero tiempo de demora previsible. Esta red tiene cuatro rutas: A-C-F-G, A-C-E-G, A-B-D-F-G y A-B-D-E-G. Las duraciones de las rutas son 38, 35, 38 y 35 semanas.

ILUSTRACIÓN 10.6 Red de CPM para el proyecto de diseño de una computadora.

	Designaciones de actividad del CPM y estimados de tiempo		
Actividad	**Designación**	**Predecentes inmediatos**	**Tiempo (semanas)**
Diseño	A	–	21
Construir prototipo	B	A	5
Evaluar equipo	C	A	7
Probar prototipo	D	B C,	2
Preparar informe de equipo	E	D C,	5
Preparar informe de métodos	F	D E,	8
Preparar informe final	G	F	2



Observe que este proyecto tiene dos rutas críticas; esto puede indicar que se trata de un proyecto muy difícil de manejar. El cálculo de los programas de inicio temprano y de inicio tardío permite comprender mejor la dificultad que entrañaría este proyecto para completarlo a tiempo. ●

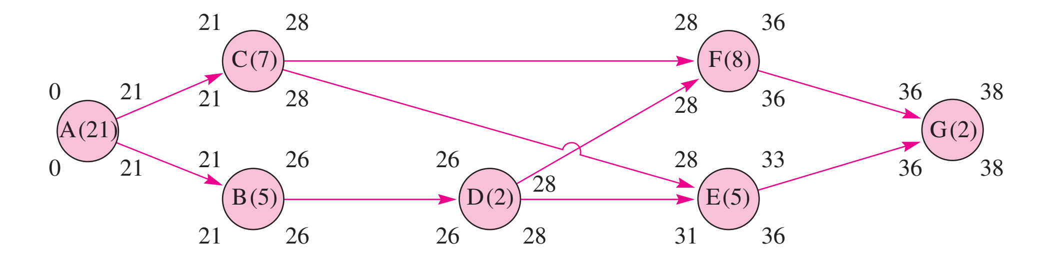
Programa de inicio temprano

Programas de inicio temprano e inicio tardío Un **programa de inicio temprano** enlista todas las actividades por sus tiempos de inicio temprano. Para actividades que no estén en la ruta crítica, hay un tiempo de demora previsible entre la terminación de cada actividad y el inicio de la siguiente. El programa de inicio temprano completa el proyecto y todas sus actividades tan pronto como sea posible.

Programa de inicio tardío

Un **programa de inicio tardío** enlista las actividades que van a iniciar tan tarde como sea posible sin demorar la terminación del proyecto. Una motivación para usar un programa de ini-

ILUSTRACIÓN 10.7 Red de CPM para el proyecto de diseño de una computadora.



Cálculos de demora previsible y determinaciones de ruta crítica			
Actividad	**IT-ITE**	**Demora previsible**	**En ruta crítica**
A	0-0	0	✓
B	21-21	0	✓
C	21-21	0	✓
D	26-26	0	✓
E	31-28	3	
F	28-28	0	✓
G	36-36	0	✓

cio tardío son los posibles ahorros al posponer compras de materiales, uso de mano de obra y otros costos hasta que sean necesarios. Estos cálculos se muestran en la ilustración 10.7, donde se aprecia que la única actividad con tiempo de demora previsible es la E. Sin duda, sería muy difícil terminar este proyecto a tiempo.

CPM CON TRES ESTIMADOS DE TIEMPO DE ACTIVIDAD

Si una sola estimación del tiempo necesario para completar una actividad no resulta confiable, lo mejor son tres estimados de tiempo. Estos tres tiempos no solo permiten estimar el tiempo de actividad, sino también una probabilidad para el tiempo de terminación de toda la red. A grandes rasgos, el procedimiento es el siguiente: el tiempo estimado de actividad se calcula mediante un promedio ponderado de estimados de tiempo mínimo, máximo y más probable. El tiempo esperado de terminación de la red se calcula mediante el procedimiento descrito líneas antes. Con estimados de variabilidad para las actividades en la ruta crítica se calcula la probabilidad de completar el proyecto antes de tiempos particulares. (Observe que los cálculos de probabilidad son una característica distintiva del método PERT clásico.)

EJEMPLO 10.3: Tres estimaciones de tiempo

Usamos la misma información que en el ejemplo 10.2, salvo que las actividades tienen tres estimados de tiempo.

Paso por paso

Solución

1. Identifique cada actividad del proyecto.
2. Determine la secuencia de actividades y construya una red que refleje las relaciones de precedencia.
3. Los tres estimados de un tiempo de actividad son

   a = Tiempo optimista: periodo mínimo razonable en el que se completa la actividad. (Hay solo una pequeña probabilidad, que por lo general se supone de 1%, de que la actividad tarde menos tiempo.)
   m = Tiempo más probable: la mejor estimación del tiempo requerido. Como m sería el tiempo que se considera más probable, también es el modo de la distribución beta que se estudia en el paso 4.
   b = Tiempo pesimista: periodo máximo razonable en completarse la actividad. (Hay solo una pequeña probabilidad, que por lo general se supone de 1%, de que tarde más).

   Lo normal es tomar esta información de quienes han de ejecutar la actividad.
4. Calcule el tiempo esperado (TE) para cada actividad. La fórmula para este cálculo es

$$\text{TE} = \frac{a + 4m + b}{6} \qquad \textbf{(10.1)}$$

   Esto se basa en la distribución estadística beta y pondera el tiempo más probable (m) cuatro veces más que el tiempo optimista (a) o el tiempo pesimista (b). La distribución beta es en extremo flexible. Adopta las diversas formas que suelen surgir; tiene puntos extremos finitos (que limitan los posibles tiempos de actividad al área entre a y b); y, en la versión simplificada, permite un cálculo fácil de la desviación media y estándar de la actividad.
5. Determine la ruta crítica. Con los tiempos esperados, una ruta crítica se calcula en la misma forma que el caso de un solo tiempo.
6. Calcule las varianzas (σ^2) de los tiempos de actividad. Específicamente, esta es la varianza, σ^2, asociada a cada tiempo esperado (TE) y se calcula como sigue:

$$\sigma^2 = \left(\frac{b - a}{6}\right)^2 \qquad \textbf{(10.2)}$$

   Como se ve, la varianza es el cuadrado de un sexto de la diferencia entre los dos estimados extremos de tiempo. Desde luego, cuanto mayor sea la diferencia, mayor es la varianza.
7. Determine la probabilidad de completar el proyecto en una fecha determinada con base en la aplicación de la distribución normal estándar. Una característica valiosa de usar tres estimados de tiempo posibilita que el analista evalúe el efecto de incertidumbre en el tiempo de terminación del proyecto. (Si no conoce bien este tipo de análisis, vea el recuadro “Análisis de probabilidad”.) La mecánica para obtener esta probabilidad es la siguiente:

a) Sume los valores de varianza asociados a cada actividad de la ruta crítica.

b) Sustituya esta cantidad, junto con la fecha de vencimiento del proyecto y el tiempo esperado de terminación del proyecto, en la fórmula de transformación *Z*. Esta fórmula es

$$Z = \frac{D - T_E}{\sqrt{\Sigma \sigma_{cp}^2}} \tag{10.3}$$

donde

D = Fecha deseada de terminación del proyecto

T_E = Tiempo esperado de terminación del proyecto

$\Sigma\sigma_{cp}^2$ = Suma de varianzas a lo largo de la ruta crítica

c) Calcule el valor de *Z*, que es el número de desviaciones estándar (de una distribución normal estándar) de donde proviene la fecha de vencimiento del proyecto, a partir del tiempo esperado de terminación.

d) Con el valor de *Z*, encuentre la probabilidad de cumplir la fecha de vencimiento del proyecto (mediante una tabla de probabilidades normal, como la del apéndice G). El *tiempo esperado de terminación* es el tiempo de inicio más la suma de los tiempos de actividad en la ruta crítica.

ILUSTRACIÓN 10.8 Varianzas y tiempos esperados de actividad.

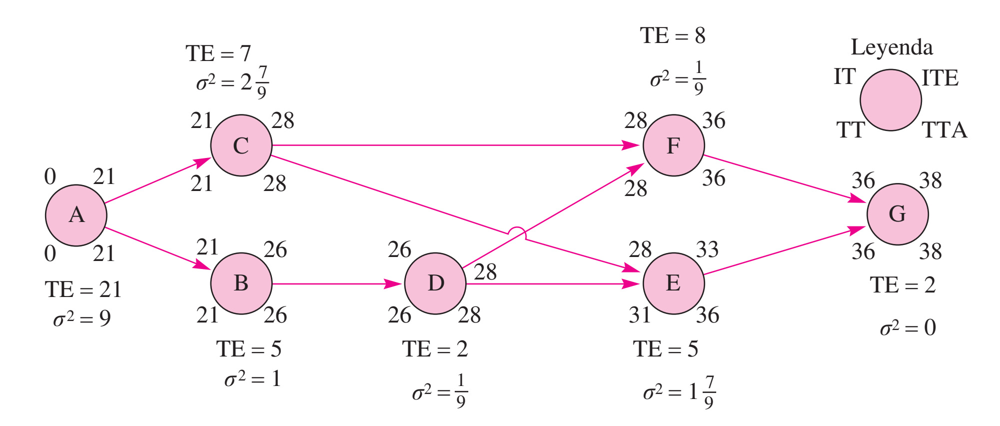
Excel: Administración de proyectos

Actividad	Designación de actividad	Tiempos estimados *a*	*m*	*b*	Tiempos esperados (TE) $\frac{a+4m+b}{6}$	Varianzas de actividad (σ^2) $\left(\frac{b-a}{6}\right)^2$
Diseño	A	10	22	28	21	9
Construir prototipo	B	4	4	10	5	1
Evaluar equipo	C	4	6	14	7	$2\frac{7}{9}$
Probar prototipo	D	1	2	3	2	$\frac{1}{9}$
Preparar informe	E	1	5	9	5	$1\frac{7}{9}$
Preparar informe de métodos	F	7	8	9	8	$\frac{1}{9}$
Preparar informe final	G	2	2	2	2	0

Con los pasos aquí resumidos se elabora la ilustración 10.8, que muestra varianzas y tiempos esperados. La red del proyecto se creó igual que antes. La única diferencia es que los tiempos de actividad son promedios ponderados. Determinamos la ruta crítica como antes, con estos valores como si fueran números individuales. La diferencia entre la estimación individual de tiempo y los tres tiempos (optimista, más probable y pesimista) está en calcular probabilidades de terminación. La ilustración 10.9 presenta la red y ruta crítica.

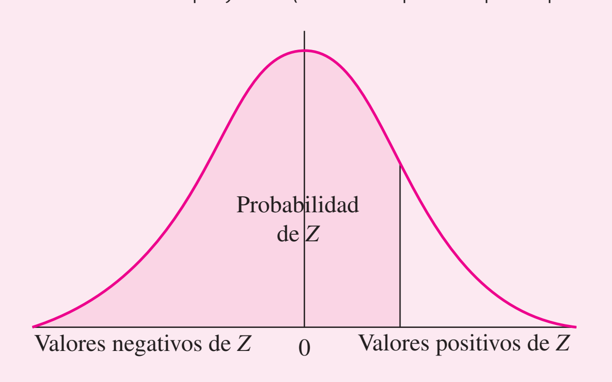
Como hay dos rutas críticas en la red debemos elegir las varianzas al llegar a la probabilidad de satisfacer la fecha de vencimiento del proyecto. Un método conservador dicta el uso de la ruta con la máxima varianza total para enfocar la atención de la administración hacia las actividades con más probabilidad de

ILUSTRACIÓN 10.9 Proyecto de diseño de computadora con tres estimados de tiempo.



Análisis de probabilidad

El método de tres estimados de tiempo introduce la capacidad de considerar la probabilidad de completar un proyecto en un tiempo particular. La suposición necesaria para esta estimación de probabilidad es que los tiempos de duración de la actividad son variables aleatorias independientes. Si esto es así, se aplica el teorema del límite central para hallar la media y la varianza de la secuencia de actividades que forman la ruta crítica. El teorema del límite central establece que la suma de un grupo de variables aleatorias independientes, idénticamente distribuidas, se aproxima a una distribución normal a medida que aumenta el número de variables aleatorias. En el caso de problemas de administración de un proyecto, las variables aleatorias son los tiempos reales para las actividades del proyecto. (Recuerde que se supone que el tiempo para cada actividad es independiente de otras actividades y que se sigue una distribución estadística beta.) Para éste, el tiempo esperado para completar las actividades de la ruta crítica es la suma de los tiempos de actividad.



Del mismo modo, debido a la suposición de independencia del tiempo de actividad, la suma de las variaciones de las actividades a lo largo de la ruta crítica es la variación del tiempo esperado para completar la ruta. Recuerde que la desviación estándar es igual a la raíz cuadrada de la varianza.

Para determinar la probabilidad real de completar las actividades de la ruta crítica en cierto tiempo, necesitamos ver dónde cae el tiempo en nuestra distribución de probabilidad. El apéndice G muestra las áreas de distribución normal estándar acumulada para diferentes valores de *Z*. *Z* mide el número de desviaciones estándar a la derecha o a la izquierda de cero en la distribución. Los valores corresponden a la probabilidad acumulada asociada a cada valor de *Z*. Por ejemplo, el primer valor de la tabla, -4.00, tiene una *G*(*z*) igual a .00003. Esto significa que la probabilidad asociada a un valor *Z* de -4.0 es sólo de .003%. De igual modo, un valor *Z* de 1.50 tiene una *G*(*z*) igual a .93319, o 93.319%. Los valores *Z* se calculan con la ecuación (10.3) dada en el paso 7b de la solución del ejemplo "Tres estimados de tiempo". Estas probabilidades acumuladas también se obtienen con la función DISTR.NORM.ESTAND.N(Z)incorporada en Microsoft Excel.

exhibir variaciones amplias. A partir de lo anterior, se hallaría la probabilidad de terminación con las varianzas asociadas a las actividades A, C, F y G. Entonces, $\Sigma\sigma_{cp}^2 = 9 + 2\frac{7}{9} + \frac{1}{9} + 0 = 11.89$. Suponga que la administración pregunta por la probabilidad de terminación del proyecto en 35 semanas. Así, D es 35. Se encontró que el tiempo esperado de terminación es 38. Se sustituye en la ecuación *Z* y se despeja, para obtener

$$Z = \frac{D = T_E}{\sqrt{\Sigma\sigma_{cp}^2}} = \frac{35 - 38}{\sqrt{11.89}} = -0.87$$

En el apéndice G se ve que un valor de *Z* de –0.87 da una probabilidad de 0.1922, lo cual significa que el administrador del proyecto tiene una oportunidad solo alrededor de 19% de terminar el proyecto en 35 semanas. Observe que esta probabilidad es en realidad la de completar la ruta crítica A-C-F-G. Como hay otra ruta crítica, y otras que podrían convertirse en críticas, la probabilidad de completar el proyecto en 35 semanas es en realidad menor que 0.19. ●

MODELOS DE TIEMPO-COSTO Y PROCESO ACELERADO DE UN PROYECTO

En la práctica, los administradores de proyectos se preocupan tanto del costo de completar un proyecto como del tiempo para completarlo. Por esta razón se idearon **modelos de tiempo-costo**. Estos modelos, que son extensiones del método de ruta crítica básico, tienen el propósito de elaborar un programa de costo mínimo para todo un proyecto y controlar gastos durante el proyecto.

Modelos de tiempo-costo

Programa de costo mínimo (punto medio entre tiempo y costo) La suposición básica en el programa de costo mínimo, también conocido como "proceso acelerado", es que hay una relación entre el tiempo de terminación de un proyecto y su costo. Por un lado, cuesta dinero acelerar una actividad; por otro, cuesta dinero sostener (o alargar) el proyecto. Los costos asociados a la aceleración de actividades se conocen como *costos directos de actividad* y se suman al costo directo del proyecto. Algunos pueden relacionarse con la mano de obra, por ejemplo, tiempo

extra, contratar más trabajadores y transferirlos de puesto; otros se relacionan con los recursos, por ejemplo, comprar o rentar equipo adicional o más eficiente y recurrir a instalaciones de apoyo adicionales.

Los costos asociados al sostenimiento del proyecto se denominan *costos indirectos de proyecto*: gastos generales, instalaciones, costos de oportunidad de recursos y, en ciertas situaciones contractuales, costos de penalización o pagos de incentivos perdidos. Como los *costos directos de actividad* y *costos indirectos de proyecto* son opuestos y dependientes del tiempo, el problema de programar es en esencia hallar la duración del proyecto que reduzca al mínimo su suma o, en otras palabras, hallar el punto medio óptimo entre tiempo y costo.

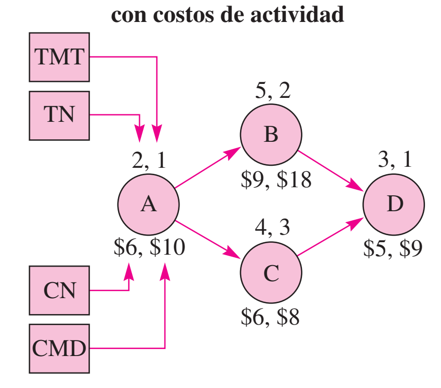
El procedimiento para acelerar el proyecto consta de los siguientes cinco pasos. Se explica mediante la red sencilla de cuatro actividades de la ilustración 10.10. Suponga que los costos indirectos permanecen constantes durante ocho días y luego aumentan a razón de $5 por día.

1. **Elaborar un diagrama de red tipo CPM.** Por cada actividad, este diagrama debe enlistar
   a) Costo normal (CN): los más bajos costos de actividad esperados. (Son los menores de las cifras de costo que se ven bajo cada nodo en la ilustración 10.10.)
   b) Tiempo normal (TN): el tiempo asociado a cada costo normal.
   c) Tiempo mínimo de terminación (TMT): el tiempo de actividad más breve posible.
   d) Costo máximo en dinero (CMD): el costo asociado a cada tiempo mínimo de terminación.
2. **Determinar el costo por unidad de tiempo (suponer días) para acelerar cada actividad.** La relación entre tiempo y costo de actividad se puede mostrar gráficamente al localizar las coordenadas CMD y TMT y unirlas a las coordenadas CN y TN por una línea cóncava, convexa o recta, o alguna otra forma, según la estructura de costo real del desempeño de la actividad, como en la ilustración 10.10. Para la actividad A se supone una relación lineal entre tiempo y costo. Esta suposición es común en la práctica y sirve para obtener el costo diario y acelerarlo, porque este valor puede hallarse directamente al tomar la pendiente de la recta mediante la fórmula Pendiente = (CMD − CN) ÷ (TN − TMT). (Cuando no se pueda hacer la suposición de linealidad, gráficamente debe determinarse el gasto por cada día que la actividad se pueda acortar.)

Excel: Administración de proyectos

ILUSTRACIÓN 10.10 Ejemplo de procedimiento de punto medio entre tiempo y costo.

Paso 1. Preparar diagrama del CPM con costos de actividad



CA Costo máximo en dinero
TMT Tiempo mínimo de terminación
CN Costo normal
TN Tiempo normal

Paso 2. Determinar costo por unidad de tiempo

$10 CMD, TMT — Actividad A
Costo de actividad: 8, 6 — CN, TN
Tiempo: 1, 2, 3, 4

Paso 3. Calcular la ruta crítica

A(2): 0, 2; 0, 2
B(5): 2, 7; 2, 7
C(4): 2, 6; 3, 7
D(3): 7, 10; 7, 10

ILUSTRACIÓN 10.11 Cálculo de costo por día para acelerar cada actividad.

Actividad	CMD-CN	TN-TMT	$\frac{\text{CMD-CN}}{\text{TN-TMT}}$	Costo por día para acelerar	Número de días en que la actividad puede acortarse
A	$10-$6	2-1	$\frac{\$10 - \$6}{2 - 1}$	$4	1
B	$18-$9	5-2	$\frac{\$18 - \$9}{5 - 2}$	$3	3
C	$8-$6	4-3	$\frac{\$8 - \$6}{4 - 3}$	$2	1
D	$9-$5	3-1	$\frac{\$9 - \$5}{3 - 1}$	$2	2

Los cálculos necesarios para obtener el costo de acelerar las actividades restantes se ven en la ilustración 10.11.

3. **Calcular la ruta crítica.** Para la red sencilla que se utiliza, este programa debe tardar 10 días. La ruta crítica es A-B-D.
4. **Acortar la ruta crítica al costo mínimo.** La forma más fácil de continuar es empezar con el programa normal, hallar la ruta crítica y reducir en un día el tiempo de ruta mediante la actividad de más bajo costo. A continuación se repite el cálculo hasta que el tiempo de terminación sea satisfactorio o ya no se reduzca más el tiempo de terminación del proyecto. La ilustración 10.12 presenta la reducción de la red un día a la vez.

Trabajar en la ilustración 10.12 quizá parezca difícil al principio. En el primer renglón, todas las actividades en su tiempo y costos normales están en su valor más bajo. La ruta crítica es A-B-D, el costo para completar el proyecto es $26 y el tiempo de terminación del proyecto es de 10 días.

El objetivo en el segundo renglón es reducir un día el tiempo de terminación del proyecto. Sabemos que es necesario reducir el tiempo para una o más de las actividades de la ruta crítica. En la segunda columna observamos que la actividad A se reduce un día (de dos a uno), la actividad B tres días (de cinco a dos días) y la actividad D dos días (de tres a un día). La siguiente columna es un seguimiento del costo para reducir un solo día cada actividad. Por ejemplo, para la actividad A, normalmente cuesta $6 completarla en dos días. Se completaría en un día con un costo de $10, $4 más. Por tanto, se indica que el costo para acelerar en un día la actividad A es $4. Para la actividad B, normalmente cuesta $9 completarla en cinco días. Puede completarse en dos días con un costo de $18. El costo de reducir B en tres días es $9, o $3 por día. Para C, normalmente cuesta $5 completarla en tres días. Puede completarse en un día con un costo de $9; una reducción de dos días costaría $4 ($2 por día). La opción

ILUSTRACIÓN 10.12 Reducción del tiempo de terminación del proyecto un día a la vez.

Ruta(s) crítica(s) actual(es)	Número restante de días en que la actividad se puede acortar	Costo por día para acelerar cada actividad	Actividad de mínimo costo para acelerar	Costo total de todas las actividades en la red	Tiempo de terminación del proyecto
ABD	Todos los tiempos y costos de actividad son normales.			$26	10
ABD	A-1, B-3, D-2	A-4, B-3, D-2	D	28	9
ABD	A-1, B-3, D-1	A-4, B-3, D-2	D	30	8
ABD	A-1, B-3	A-4, B-3	B	33	7
ABD ACD	A-1, B-2, C-1	A-4, B-3, C-2	A*	37	6
ABD ACD	B-2, C-1	B-3, C-2	B&C†	42	5
ABD ACD	B-1	B-3	B+	45	5

* Para reducir en un día la ruta crítica, reduzca solo A, o B y C al mismo tiempo (B o C por sí mismas solo modifican la ruta crítica sin acortarla).
† B y C deben acelerarse juntas para reducir la ruta en un día.
+ Acelerar la actividad B no reduce la duración del proyecto, de modo que no se incurriría en este costo adicional.

menos costosa para reducir un día es acelerar la actividad D con un costo de $2. El costo total de la red sube a $28 y el tiempo de terminación del proyecto se reduce nueve días.

La siguiente iteración se inicia en el tercer renglón, donde el objetivo es reducir ocho días el tiempo de terminación del proyecto. La ruta crítica de nueve días es A-B-D. Se puede acortar un día la actividad A, tres días la B y un día la D (vea que D ya se redujo de tres días a dos). El costo de reducir un día cada actividad es igual que en el renglón dos. De nuevo, la reducción de actividad menos costosa es D. Reducir la actividad D de dos días a uno resulta en que el costo total de todas las actividades de la red sube a $30 y el tiempo de terminación del proyecto baja a ocho días.

El renglón cuatro es semejante al renglón tres, pero ahora solo A y B están en la ruta crítica y se pueden reducir. B se reduce, lo cual sube nuestro costo $3, a 33, y reduce a siete días el tiempo de terminación.

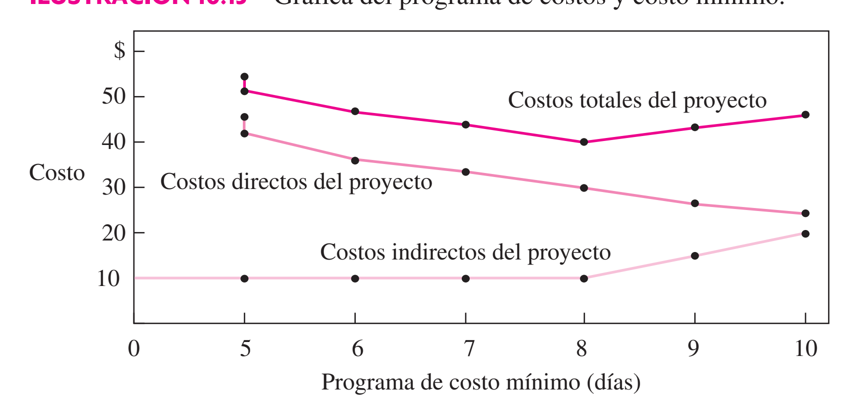
En el renglón cinco (en realidad la quinta iteración al resolver el problema), todas las actividades A, B, C y D son críticas. D no se puede reducir, de modo que las únicas opciones son las actividades A, B y C. Observe que B y C están en paralelo, por lo cual no ayuda reducir B sin reducir C. Nuestras opciones son reducir solo A con un costo de $4, o B y C juntas con un costo de $5 ($3 por B y $2 por C), por lo que reducimos A en esta iteración.

En el renglón seis tomamos las opciones B y C que consideramos en el renglón cinco. Por último, en el renglón siete, la única opción es reducir la actividad B. Como B y C están en paralelo y no podemos reducir C, no hay valor al reducir B sola. Ya no se puede reducir el tiempo de terminación del proyecto.

5. **Trazar las curvas del costo directo, indirecto y total del proyecto y hallar el programa de costo mínimo.** La ilustración 10.13 presenta el costo indirecto trazado como una constante de $10 por día hasta por ocho días, y aumenta $5 por día de ahí en adelante. Los costos directos se grafican a partir de la ilustración 10.12, y el costo total del proyecto se ve como el total de los dos costos.

La suma de los valores de costos directo e indirecto por cada día da la curva del costo total del proyecto. Como se ve, esta curva está en su mínimo con un programa de ocho días, lo cual cuesta $40 ($30 directo + $10 indirecto).

ILUSTRACIÓN 10.13 Gráfica del programa de costos y costo mínimo.



Administración de recursos

Además de programar cada tarea debemos asignarles recursos. Un software moderno resalta rápidamente las partidas con exceso de dotación, es decir, situaciones en las que las dotaciones exceden de los recursos.

Para resolver manualmente estos excedentes se agregan recursos o se reprograma. Desplazar una tarea dentro de su tiempo de demora previsible puede liberar recursos.

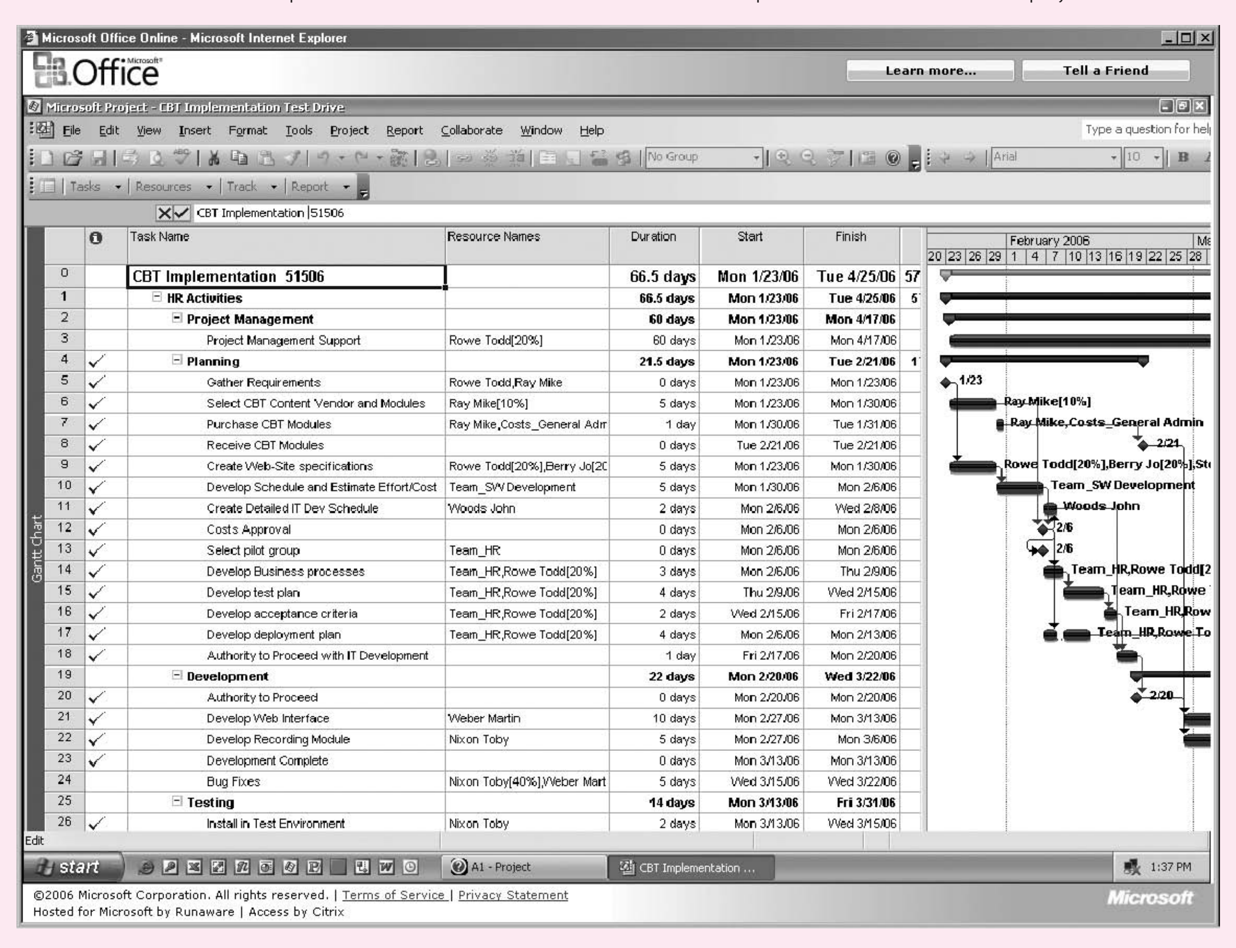
El software de nivel medio a alto en sistemas de información de administración de proyectos (SIAP) resuelve el exceso de dotación mediante una función de "nivelación". Hay varias reglas

Sistemas de información para administración de proyectos

El interés en las técnicas y conceptos de administración de proyectos se intensificó en los últimos 10 años, lo que generó un aumento paralelo en ofertas de software para administración de proyectos; ahora, más de 100 empresas ofrecen este software. Para obtener la información más actualizada disponible, consulte el sitio web del Project Management Institute (www.pmi.org). Dos de las principales empresas son Microsoft, con Microsoft Project, y Primavera, con Primavera Project Planner. Lo siguiente es un breve repaso de estos dos programas:

El programa Microsoft Project viene con un excelente material didáctico en línea, que es una razón de su abrumadora popularidad entre los administradores de proyectos de tamaño mediano. Este paquete es compatible con la *suite* Office de Microsoft, que abre todas las comunicaciones y la capacidad de integración de internet que ofrece Microsoft. El programa incluye funciones para programar, asignar y nivelar recursos, así como controlar costos y producir gráficas e informes con calidad de presentaciones.

Por último, para manejar proyectos muy grandes o programas con varios proyectos, el Primavera Project Planner es, con frecuencia, una buena opción. Primavera fue el primer vendedor importante de este tipo de software y posiblemente tiene la capacidad más refinada o compleja.



básicas; es posible especificar que las tareas de baja prioridad se demoren hasta completarse las de alta prioridad, o que el proyecto debe terminar antes o después de la fecha límite original.

SEGUIMIENTO DE ETAPAS

La acción real se inicia cuando el proyecto se pone en marcha. El avance real va a diferir respecto del avance planeado original, o línea de base. El software contiene planes diferentes de línea de base, de modo que mensualmente se pueden comparar instantáneas.

Una *gráfica de Gantt de seguimiento* se sobrepone al programa actual en un plan de línea de base, de modo que las variaciones resaltan fácilmente. Si se prefiere, una hoja de cálculo puede producir una imagen de la misma información. También aparecen desviaciones entre inicio/terminación planeadas o inicio/terminación recién programadas, y un "filtro corredizo" destaca o presenta solo las tareas programadas para terminarse en fecha posterior a la línea de base planeada.

Asimismo, es posible aplicar una administración por excepción para hallar desviaciones entre costos presupuestados y costos reales. (Vea el recuadro "Sistemas de información para administración de proyectos".)

Resumen

En este capítulo se describen los aspectos básicos de la administración de proyectos. El capítulo aborda primero el modo en que se organizan las personas que participan en el proyecto desde el punto de vista de la administración; el ámbito del proyecto contribuye a definir la organización, misma que implica un equipo dedicado a una estructura matriz que en su mayor parte no está dedicada. A continuación, el capítulo considera cómo organizar las actividades de un proyecto en proyectos pequeños mediante la estructura de desglose del trabajo. Después se tratan los detalles técnicos de calcular el tiempo más breve posible para completar el proyecto. Por último, el capítulo considera cómo deben acortarse los proyectos mediante conceptos de "aceleración".

Conceptos clave

Proyecto Serie de trabajos relacionados, por lo común dirigida a obtener productos finales cuyo desempeño requiere un tiempo considerable.

Administración de un proyecto Planeación, dirección y control de recursos (personas, equipo, material) para satisfacer las restricciones técnicas, de costo y tiempo de un proyecto.

Proyecto puro Estructura para organizar un proyecto mediante la cual un equipo independiente trabaja de tiempo completo en él.

Proyecto funcional Estructura conforme a la cual los miembros de un equipo se asignan desde unidades funcionales de la organización. Los miembros del equipo se mantienen como parte de sus unidades funcionales y por lo general no están dedicados al proyecto.

Proyecto matriz Estructura que combina las estructuras de proyectos funcionales y puros. Cada proyecto emplea personas de diferentes áreas funcionales. Un administrador designado a un proyecto determina qué tareas es necesario ejecutar y cuándo, pero los administradores funcionales controlan qué personal utilizar.

Etapas de proyecto Momento específico en un proyecto.

Estructura de desglose de trabajo Jerarquía de actividades de proyecto, partes de actividades y paquetes de trabajo.

Actividades Partes de trabajo dentro de un proyecto que consumen tiempo. La terminación de todas las actividades de un proyecto marca el final del proyecto.

Gráfica de Gantt Muestra gráficamente el tiempo en la secuencia en que se desempeñan las actividades. A veces se conoce como *gráfica de barras.*

Administración de valor ganado Técnica que combina mediciones de ámbito, programa y costo para evaluar el avance de un proyecto.

Ruta crítica Secuencia de actividades en un proyecto que forma la cadena más larga en términos de tiempo para terminarse. Esta ruta no contiene tiempo de demora previsible. Es posible que haya múltiples rutas críticas en un proyecto. Las técnicas para hallar la ruta crítica se denominan CPM, o técnicas del método de ruta crítica.

Precedente inmediato Actividad que es necesario completar inmediatamente antes de otra actividad.

Tiempo de demora previsible Tiempo que una actividad se puede demorar; es la diferencia entre los tiempos de inicio tardío y temprano de una actividad.

Programa de inicio temprano Programa de proyecto que enlista todas las actividades según sus tiempos de inicio temprano.

Programa de inicio tardío Programa de proyecto que enlista todas las actividades según sus tiempos de inicio tardíos. Este programa puede permitir ahorros al posponer compras de material y otros costos asociados al proyecto.

Modelos de tiempo-costo Extensión de los modelos de ruta crítica que considera el punto medio entre el tiempo requerido para completar una actividad y su costo. A veces se conocen como "aceleración" de un proyecto.

Revisión de fórmulas

Tiempo esperado

$$TE = \frac{a + 4m + b}{6} \qquad (10.1)$$

Varianza (σ^2) de los tiempos de actividad

$$\sigma^2 = \left(\frac{b-a}{6}\right)^2 \qquad \textbf{(10.2)}$$

Fórmula de transformación de Z

$$Z = \frac{D - T_E}{\sqrt{\Sigma\,\sigma_{cp}^2}} \qquad \textbf{(10.3)}$$

Problemas resueltos

Problema resuelto 1

Se le pidió calcular el índice de desempeño de costo de un proyecto que utiliza técnicas de administración de valor ganado. En este momento es el día 20 del proyecto y lo que sigue resume la situación actual:

Actividad	Costo esperado	Duración de actividad	Fecha esperada de inicio	Fecha esperada de terminación	% completo esperado	% completo real	Costo real a la fecha
Inicio	$100 000	10 días	0	10	100	100	$105 000
Construcción	$325 000	14 días	8	22	12/14 = 85.7	90	$280 000
Terminación	$50 000	12 días	18	30	2/12 = 16.7	25	$2 500

Calcule la varianza del programa, índice de desempeño del programa y el índice de desempeño de costo del proyecto.

Solución

Paso 1: Calcule el costo presupuestado del trabajo programado hasta la fecha:

El inicio está 100% terminado y estamos después de la fecha esperada de terminación, de modo que el costo presupuestado es $100 000 para esta actividad.

Se esperaría que la construcción estuviera 85.7% terminada y el costo sería de $278 200 a la fecha.
Se esperaría que la terminación esperada estuviera 16.7% completa con un costo de $8 333 a la fecha.

Costo presupuestado del trabajo programado = $100 000 + 278 200 + 8 300 = $386 533

Paso 2: Calcule el costo presupuestado del trabajo desempeñado a la fecha:

El inicio está 100% completo, de modo que el costo presupuestado es $100 000.
La construcción en realidad está completa en 90%, de modo que el costo de presupuesto para esta cantidad de actividad es (325 000 × .9) = $292 500.

La terminación está ahora 25% completa, de modo que el costo presupuestado es (50 000 × .25) = $12 500.

Costo presupuestado de trabajo desempeñado = 100 000 + 292 500 + 12 500 = $405 000

Paso 3: El costo real del proyecto a la fecha es 105 000 + 280 000 + 2 500 = $387 500.

Paso 4: Calcule las medidas de desempeño:

Varianza de programa = $405 000 − $386 533 = $18 467
Índice de desempeño del programa = $405 000/$386 533 = 1.047
Índice de desempeño de costo = $405 000/$387 500 = 1.045

El proyecto se ve bien porque está adelantado tanto en el programa como en el costo presupuestado.

Problema resuelto 2

Se definió que un proyecto contenga la siguiente lista de actividades junto con sus tiempos requeridos de terminación:

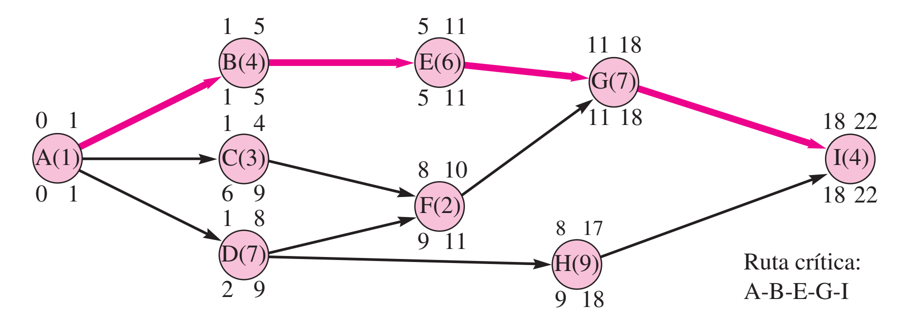
Excel: GP_ Problemas resueltos

Actividad	Tiempo	Precedentes inmediatos
A	1	–
B	4	A
C	3	A
D	7	A
E	6	B
F	2	C, D
G	7	E, F
H	9	D
I	4	G, H

a) Trace el diagrama de ruta crítica.
b) Muestre los tiempos de inicio temprano, terminación temprana, inicio tardío y terminación tardía.
c) Muestre la ruta crítica.
d) ¿Qué ocurriría si la actividad F se modificara para que tarde cuatro días en lugar de dos?

Solución

Las respuestas de *a*, *b* y *c* se muestran en el siguiente diagrama.



d) Nueva ruta crítica: A-D-F-G-I. El tiempo de terminación es 23 días.

Problema resuelto 3

Se definió que un proyecto contenga las siguientes actividades junto con sus estimaciones de tiempo de terminación:

Excel: GP_ Problemas resueltos

	Tiempo estimado (semanas)			
Actividad	*a*	*m*	*b*	Precedente inmediato
A	1	4	7	–
B	2	6	7	A
C	3	4	6	A, D
D	6	12	14	A
E	3	6	12	D
F	6	8	16	B, C
G	1	5	6	E, F

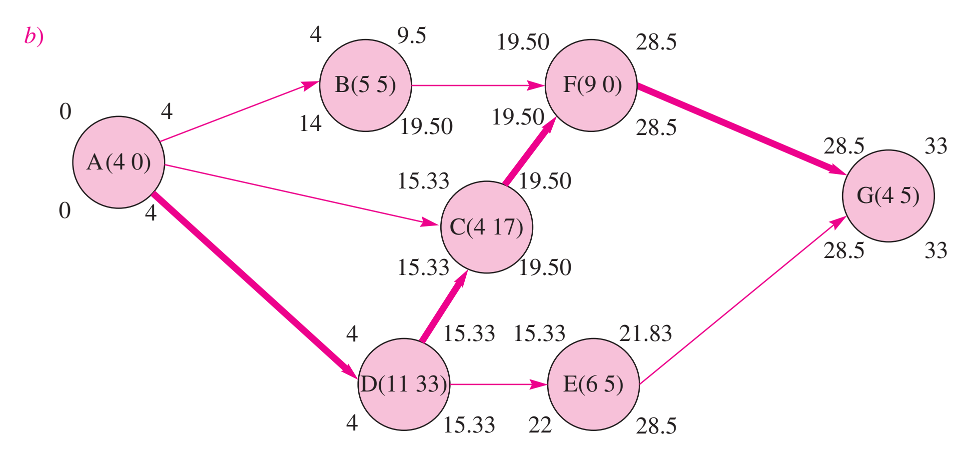
a) Calcule el tiempo esperado y la varianza de cada actividad.
b) Trace el diagrama de ruta crítica.
c) Muestre los tiempos de inicio temprano, terminación temprana, inicio tardío y terminación tardía.
d) Muestre la ruta crítica.
e) ¿Cuál es la probabilidad de completar el proyecto en 34 semanas?

Solución

a)

Actividad	Tiempo esperado $\frac{a+4m+b}{6}$	Varianza de actividad $\left(\frac{b-a}{6}\right)^2$
A	4.00	1
B	5.50	$\frac{25}{36}$
C	4.17	$\frac{1}{4}$
D	11.33	$1\frac{7}{9}$
E	6.50	$2\frac{1}{4}$
F	9.00	$2\frac{7}{9}$
G	4.50	$\frac{25}{36}$

b)



c) Se muestra en el diagrama.
d) Se muestra en el diagrama.

e) $$Z = \frac{D - T_E}{\sqrt{\Sigma\sigma^2_{cp}}} = -\frac{34 - 33}{\sqrt{1 + 1\frac{7}{9} + \frac{1}{4} + 2\frac{7}{9} + \frac{25}{36}}} = \frac{1}{2.5495} = .3922$$

Busque ese valor en el apéndice G para ver que hay alrededor de 65% de probabilidad de completar el proyecto en esa fecha.

Problema resuelto 4

A continuación se presentan los requisitos de precedencia, tiempos de actividad normal y acelerada, así como costos normales y "de aceleración" de un proyecto de construcción:

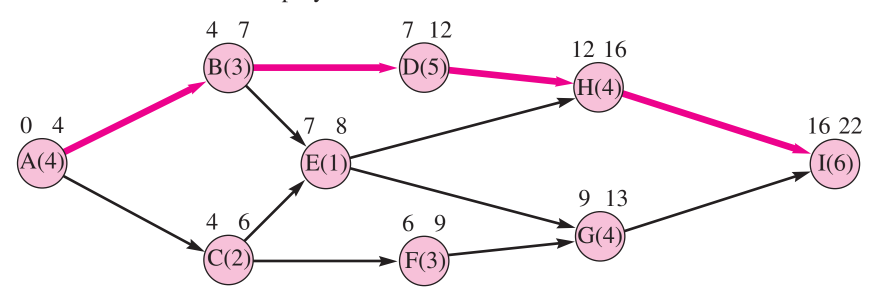
Actividad	Actividades precedentes	Tiempo requerido (semanas) Normal	Tiempo requerido (semanas) "Acelerado"	Costo Normal	Costo Acelerado
A	–	4	2	$10 000	$11 000
B	A	3	2	6 000	9 000
C	A	2	1	4 000	6 000
D	B	5	3	14 000	18 000
E	B, C	1	1	9 000	9 000
F	C	3	2	7 000	8 000
G	E, F	4	2	13 000	25 000
H	D, E	4	1	11 000	18 000
I	H, G	6	5	20 000	29 000

Excel: GP_ Problemas resueltos

a) ¿Cuál es la ruta crítica y el tiempo estimado de terminación?
b) Para acortar el proyecto en tres semanas, ¿qué actividades deben acortarse y cuál sería el costo final total del proyecto?

Solución

A continuación se muestra la red del proyecto de construcción:



a) Ruta crítica A-B-D-H-I.
El tiempo normal de terminación es de 22 semanas.

b)

Actividad	Costo "acelerado"	Costo normal	Tiempo normal	Tiempo "acelerado"	Costo por semana	Semanas
A	$11 000	$10 000	4	2	$ 500	2
B	9 000	6 000	3	2	3 000	1
C	6 000	4 000	2	1	2 000	1
D	18 000	14 000	5	3	2 000	2
E	9 000	9 000	1	1		0
F	8 000	7 000	3	2	1 000	1
G	25 000	13 000	4	2	6 000	2
H	18 000	11 000	4	1	2 333	3
I	29 000	20 000	6	5	9 000	1

(1) 1a. semana: CP = A-B-D-H-I. El más barato es A en $500. La ruta crítica sigue igual.
(2) 2a. semana: A es todavía el más barato en $500. La ruta crítica sigue igual.
(3) 3a. semana: Como ya no se dispone de A, las opciones son B (en $3 000), D (en $2 000), H (en $2 333) o I (en $9 000). Por tanto, se elige D en $2 000.

El costo total del proyecto acortado tres semanas es

A	$11 000
B	6 000
C	4 000
D	16 000
E	9 000
F	7 000
G	13 000
H	11 000
I	20 000
	$97 000

Preguntas de repaso y análisis

1. ¿Cuál es el proyecto más complejo en el que ha intervenido? Dé ejemplos de lo siguiente en tanto se refieran al proyecto: estructura de desglose del trabajo, actividades, partes de actividades y paquete de trabajo. ¿Estaba usted en la ruta crítica? ¿Tenía un buen administrador de proyecto?

2. ¿Cuáles son algunas razones por las que el programa del proyecto no está bien hecho?
3. Explique las presentaciones gráficas de la ilustración 10.4. ¿Le gustaría ver otras gráficas más si fuera el administrador del proyecto?
4. ¿Qué características debe tener un proyecto para que sea aplicable una programación de ruta crítica? ¿Qué tipos de proyectos se han sometido al análisis de ruta crítica?
5. ¿Cuáles son las suposiciones básicas de programar con un costo mínimo? ¿Son igualmente realistas?
6. "El control de un proyecto siempre debe enfocarse en la ruta crítica." Comente.
7. ¿Por qué los subcontratistas para un proyecto de gobierno desean sus actividades en la ruta crítica? ¿En qué condiciones tratarían de evitar estar en la ruta crítica?

Problemas

1. Su proyecto para obtener donaciones de caridad tiene ahora 30 días de un proyecto planeado de 40 días. El proyecto se divide en tres actividades, la primera de las cuales se diseñó para solicitar donaciones individuales; está programada para operar los primeros 25 días y hacer ingresar $25 000. Aunque ya van 30 días en el proyecto, solo se ha completado 90% de esta actividad. La segunda actividad se relaciona con las donaciones de la empresa y está programada para operar durante 30 días a partir del día 5 y prolongarse hasta el día 35. Se estima que aunque se debe tener 83% (es decir, 25/30) aplicable de esta actividad completa, en realidad solo 50% lo está. Esta parte del proyecto se programó para hacer ingresar $150 000 en donaciones. La actividad final es igualar fondos. Esta actividad está programada para operar los últimos 10 días del proyecto y aún no se inicia. Está programada para hacer ingresar otros $50 000. Hasta ahora han ingresado $175 000 en el proyecto.

   Calcule la varianza del programa, el índice de desempeño del programa y el índice de desempeño de costo (en realidad es el valor en este caso). ¿Cómo está funcionando el proyecto? Sugerencia: Observe que este problema es diferente porque la medida pertinente es el ingreso, no el costo. Tenga cuidado al interpretar las medidas.
2. El proyecto de construcción de un puente parece ir muy bien porque está adelantado al programa y los costos parecen fluir con lentitud. Se llegó a una etapa importante en la cual las primeras dos actividades terminaron por completo y la tercera actividad tiene un avance de 60%. Los planificadores esperaban estar solo a 50% de la tercera actividad en este momento. La primera actividad comprende preparar el lugar para el puente. Se esperaba que esto costaría $1 420 000 y se hizo con solo $1 300 000. La segunda actividad fue el vaciado del concreto para el puente; se esperaba que esto costaría $10 500 000 pero en realidad se terminó con $9 000 000. La tercera y última actividad es la construcción misma de la superestructura del puente, cuyo costo esperado era de $8 500 000. A la fecha se han gastado $5 000 000 en la superestructura.

   Calcule la varianza del programa, su índice de desempeño y el índice de costo para el proyecto hasta la fecha. ¿Cómo está funcionando?
3. Las siguientes actividades son parte de un proyecto para programarse con CPM:

Actividad	**Precedente inmediato**	**Tiempo (semanas)**
A	––	6
B	A	3
C	A	7
D	C	2
E	B, D	4
F	D	3
G	E, F	7

   a) Trace la red.
   b) ¿Cuál es la ruta crítica?
   c) ¿Cuántas semanas tardará todo el proyecto?
   d) ¿Cuánto tiempo de demora previsible tendrá la actividad B?

4. Programe las siguientes actividades con CPM:

Actividad	Precedente inmediato	Tiempo (semanas)
A	––	1
B	A	4
C	A	3
D	B	2
E	C, D	5
F	D	2
G	F	2
H	E, G	3

a) Trace la red.
b) ¿Cuál es la ruta crítica?
c) ¿Cuántas semanas tardará todo el proyecto?
d) ¿Cuáles actividades tienen demora previsible y durante cuánto tiempo?

5. El departamento de investigación y desarrollo planea competir por un gran proyecto para un nuevo sistema de comunicación en aviones comerciales. La tabla siguiente muestra las actividades, tiempos y secuencias requeridas:

Actividad	Precedente inmediato	Tiempo (semanas)
A	––	3
B	A	2
C	A	4
D	A	4
E	B	6
F	C, D	6
G	D, F	2
H	D	3
I	E, G, H	3

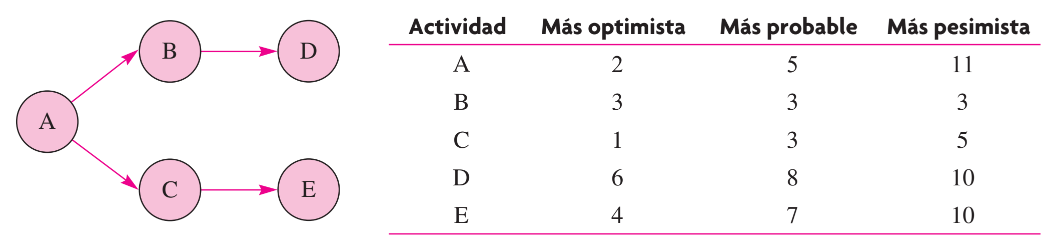
a) Trace la red.
b) ¿Cuál es la ruta crítica?
c) Suponga que desea acortar el tiempo de terminación tanto como sea posible, y tiene la opción de acortar cualquiera o todas las B, C, D y G una por semana. ¿Cuál acortaría usted?
d) ¿Cuál es la nueva ruta crítica y el tiempo de terminación más temprano?

6. Lo siguiente representa un proyecto que debe programarse con CPM:

		Tiempo (días)		
Actividad	Precedentes inmediatos	*a*	*m*	*b*
A	–	1	3	5
B	–	1	2	3
C	A	1	2	3
D	A	2	3	4
E	B	3	4	11
F	C, D	3	4	5
G	D, E	1	4	6
H	F, G	2	4	5

a) Trace la red.
b) ¿Cuál es la ruta crítica?
c) ¿Cuál es el tiempo esperado de terminación del proyecto?
d) ¿Cuál es la probabilidad de completar este proyecto antes de 16 días?

7. Hay 82% de probabilidades de que el proyecto siguiente se complete en X semanas o menos. ¿Qué es X?



Actividad	Más optimista	Más probable	Más pesimista
A	2	5	11
B	3	3	3
C	1	3	5
D	6	8	10
E	4	7	10

8. La tabla siguiente representa el plan de un proyecto:

		Tiempo (días)		
Trabajo núm.	Trabajo(s) precedente(s)	*a*	*m*	*b*
1	–	2	3	4
2	1	1	2	3
3	1	4	5	12
4	1	3	4	11
5	2	1	3	5
6	3	1	2	3
7	4	1	8	9
8	5, 6	2	4	6
9	8	2	4	12
10	7	3	4	5
11	9, 10	5	7	8

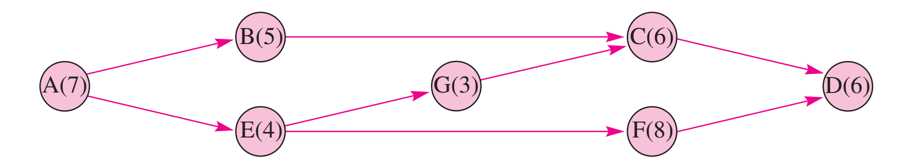
a) Elabore el diagrama adecuado de la red.
b) Indique la ruta crítica.
c) ¿Cuál es el tiempo de terminación esperado del proyecto?
d) Usted obtiene cualquier cosa de lo siguiente con un costo adicional de $1 500:
(1) Reducir dos días el trabajo 5.
(2) Reducir dos días el trabajo 3.
(3) Reducir dos días el trabajo 7.
Si ahorrase $1 000 por cada día de reducción del tiempo de terminación más temprano, ¿cuál acción, si la hay, escogería usted?
e) ¿Cuál es la probabilidad de que todo el proyecto tarde más de 30 días?

9. Un proyecto de construcción se desglosa en las siguientes 10 actividades:

Actividad	Precedente inmediato	Tiempo (semanas)
1	–	4
2	1	2
3	1	4
4	1	3
5	2, 3	5
6	3	6
7	4	2
8	5	3
9	6, 7	5
10	8, 9	7

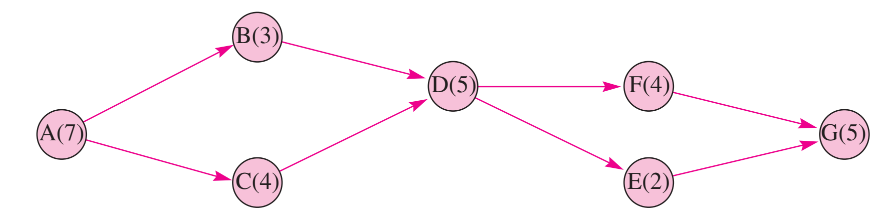
a) Trace el diagrama de la red.
b) Encuentre la ruta crítica.
c) Si las actividades 1 a 10 no pueden acortarse pero la 2 a la 9 se pueden acortar a un mínimo de una semana cada una con un costo de $10 000 por semana, ¿qué actividades acortaría usted para abreviar el proyecto cuatro semanas?

10. A continuación se presenta la red de un CPM con tiempos de actividad en semanas:



a) Determine la ruta crítica.
b) ¿Cuántas semanas tardará todo el proyecto?
c) Suponga que F puede acortarse dos semanas y B una semana. ¿Cómo afectaría esto la fecha de terminación?

11. A continuación se presenta una red con los tiempos de actividad mostrados en días:



a) Encuentre la ruta crítica.
b) La tabla siguiente muestra los tiempos normales y los tiempos "acelerados" junto con los costos asociados a cada actividad.

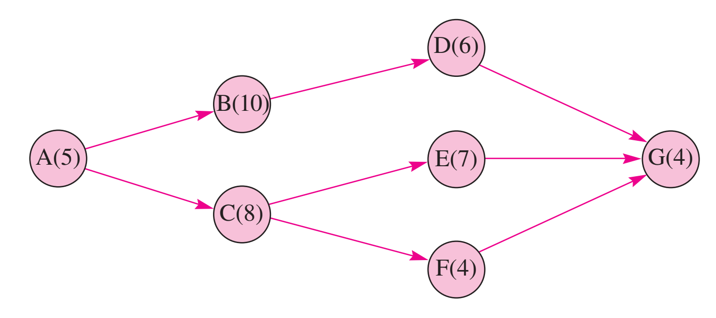
Actividad	Tiempo normal	Tiempo "acelerado"	Costo normal	Costo "acelerado"
A	7	6	$7 000	$8 000
B	3	2	5 000	7 000
C	4	3	9 000	10 200
D	5	4	3 000	4 500
E	2	1	2 000	3 000
F	4	2	4 000	7 000
G	5	4	5 000	8 000

Si el proyecto ha de acortarse cuatro días, muestre, en orden de reducción, qué actividades se acortarían y el costo resultante.

12. El departamento de facturación de la casa matriz de una cadena de tiendas departamentales elabora informes mensuales de inventario para los agentes de compras de las tiendas. Determine, con la siguiente información y el método de ruta crítica:
a) Cuánto tardará todo el proceso.
b) ¿Qué trabajos se pueden demorar sin retardar el inicio temprano de cualquier actividad subsiguiente.

	Trabajo y descripción	Precedentes inmediatos	Tiempo (horas)
a	Inicio	–	0
b	Obtener comprobantes de computadora de compras de clientes	a	10
c	Obtener registros de acciones para el mes	a	20
d	Conciliar comprobantes de compras y registros de acciones	b, c	30
e	Registros totales de acciones por departamento	b, c	20
f	Determinar el reorden de cantidades para el periodo siguiente	e	40
g	Elaborar informes de acciones para agentes de compras	d, f	20
h	Terminar	g	0

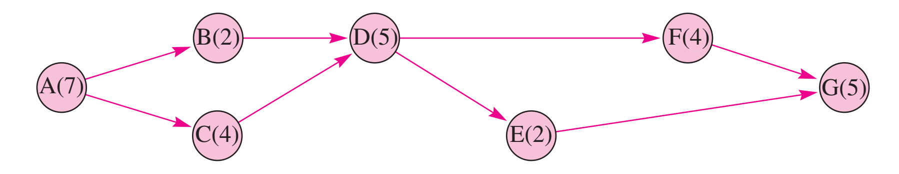
13. Para la red que se muestra:



a) Determine la ruta crítica y el tiempo de terminación temprano en semanas para el proyecto.
b) Con los datos que se muestran, reduzca en tres semanas el tiempo de terminación del proyecto. Suponga que se acorta un costo lineal por semana, y muestre, paso a paso, cómo llegó a su programa.

Actividad	Tiempo normal	Costo normal	Tiempo "acelerado"	Costo "acelerado"
A	5	$7 000	3	$13 000
B	10	12 000	7	18 000
C	8	5 000	7	7 200
D	6	4 000	5	5 500
E	7	3 000	6	6 000
F	4	6 000	3	7 000
G	4	7 000	3	9 000

14. La siguiente red con CPM tiene estimaciones de tiempo normal en semanas indicado para las actividades:



a) Identifique la ruta crítica.
b) ¿Cuál es el tiempo para completar el proyecto?
c) ¿Cuáles actividades tienen tiempo de demora previsible, y cuánto?
d) A continuación se presenta una tabla de tiempos y costos normales y "acelerados". ¿Cuáles actividades acortaría usted para abreviar dos semanas del programa en forma racional? ¿Cuál sería el costo incremental? ¿Cambia la ruta crítica?

Actividad	Tiempo normal	Tiempo "acelerado"	Costo normal	Costo "acelerado"
A	7	6	$7 000	$8 000
B	2	1	5 000	7 000
C	4	3	9 000	10 000
D	5	4	3 000	4 500
E	2	1	2 000	3 000
F	4	2	4 000	7 000
G	5	4	5 000	8 000

15. La panadería Bragg's construye una nueva panadería automatizada en el centro de la ciudad de Sandusky. A continuación se presentan las actividades que es necesario completar para construir la nueva panadería y el equipo instalado.

Actividad	Precedente	Tiempo normal (semanas)	Tiempo "acelerado" (semanas)	Agilizar costo/ semana
A	–	9	6	$3 000
B	A	8	5	$3 500
C	A	15	10	$4 000
D	B, C	5	3	$2 000
E	C	10	6	$2 500
F	D, E	2	1	$5 000

a) Trace el diagrama del proyecto.
b) ¿Cuál es la duración normal del proyecto?
c) ¿Cuál es la duración del proyecto si todas las actividades se aceleran a su mínimo (es decir, en lo posible)?
d) Bragg's pierde $3 500 de utilidades semanales por cada semana que la panadería tarde en terminarse. ¿Cuántas semanas tardará el proyecto si estamos dispuestos a pagar un costo "acelerado" en tanto sea menor que $3 500?

Problema avanzado

16. Suponga la red y datos siguientes:

Actividad	Tiempo normal (semanas)	Costo normal	Tiempo "acelerado"	Costo "acelerado"	Precedentes inmediatos
A	2	$50	1	$70	–
B	4	80	2	160	A
C	8	70	4	110	A
D	6	60	5	80	A
E	7	100	6	130	B
F	4	40	3	100	D
G	5	100	4	150	C, E, F

a) Construya el diagrama de red.
b) Indique la ruta crítica con tiempos normales de actividad.
c) Calcule el costo directo total mínimo de cada duración del proyecto con base en el costo asociado a cada actividad. Considere duraciones de 13, 14, 15, 16, 17 y 18 semanas.
d) Si los costos indirectos de cada una de las duraciones del proyecto son $400 (18 semanas), $350 (17 semanas), $300 (16 semanas), $250 (15 semanas), $200 (14 semanas) y $150 (13 semanas), ¿cuál es el costo total del proyecto por cada duración? Indique la duración mínima del costo total del proyecto.

CASO: PROYECTO DE DISEÑO DE UN TELÉFONO CELULAR

Usted trabaja para Motorola en su grupo global de teléfonos celulares; lo ascendieron a administrador de proyecto para el diseño de un nuevo modelo de teléfono celular. Sus supervisores ya examinaron el proyecto, de modo que usted ya tiene una lista con la estructura de desglose del trabajo y actividades principales del proyecto. Usted debe planear el programa del proyecto y calcular su duración y costos. Su jefe desea ver el programa y los costos en su escritorio… ¡al día siguiente por la mañana!

Le dieron la información de la ilustración 10.14, que incluye todas las actividades requeridas en el proyecto y la duración de cada una de ellas. Asimismo, ya se identificaron las dependencias entre las actividades. Recuerde que la actividad precedente debe terminarse por completo antes de que se inicie el trabajo de la siguiente.

Su proyecto se divide en cinco tareas principales. La Tarea P comprende crear especificaciones para el nuevo teléfono celular. Aquí deben determinarse las decisiones relacionadas con cosas como duración de batería, tamaño del teléfono y funciones necesarias. Estos detalles se basan en la manera como los clientes usan el teléfono celular. Estas especificaciones del usuario se redefinen en términos que tengan significado para los subcontratistas que en realidad harán el nuevo teléfono celular en la Tarea S: especificaciones al proveedor; éstas abarcan detalles de ingeniería para la forma en que ha de operar el producto. Los componentes individuales que conforman el producto son el centro de atención de la Tarea D. La Tarea I reúne todos los componentes, y construye y prueba un prototipo funcional. Por último, en la Tarea V, se selecciona a los vendedores y se negocian contratos.

ILUSTRACIÓN 10.14 Actividades y estructura de desglose del trabajo para el proyecto de diseño de un teléfono celular.

Tareas/actividades principales del proyecto	Identificación de actividad	Dependencia	Duración (semanas)
Especificaciones de producto (P)			
Especificaciones generales de producto	P1	–	4
Especificaciones de hardware	P2	P1	5
Especificaciones de software	P3	P1	5
Investigación de mercado	P4	P2, P3	2
Especificaciones para proveedores (S)			
Hardware	S1	P2	5
Software	S2	P3	6
Investigación de mercado	S3	P4	1
Diseño de producto (D)			
Circuitos	D1	S1, D7	8
Batería	D2	S1	1
Pantalla	D3	S1	2
Tapa exterior	D4	S3	4
Interfaz de usuario	D5	S2	4
Cámara	D6	S1, S2, S3	1
Funcionalidad	D7	D5, D6	4
Integración de producto (I)			
Hardware	I1	D1, D2, D3, D4, D6	3
Software	I2	D7	5
Prueba de prototipo	I3	I1, I2	5
Subcontratación (V)			
Selección de vendedores	V1	D7	10
Negociación de contrato	V2	I3, V1	2

Excel: Diseño de teléfono celular

1. Trace una red de proyecto que incluya todas las actividades.
2. Calcule los tiempos de inicio y terminación de cada actividad y determine el número mínimo de semanas para completar el proyecto. Encuentre el conjunto crítico de actividades del proyecto.
3. Identifique el tiempo de demora previsible en las actividades que no se encuentren en la ruta crítica del proyecto.
4. A su jefe le gustaría que usted le sugiera posibles cambios al proyecto para acortarlo considerablemente. ¿Qué sugeriría?

Caso: Boda en el plantel (A)

El 31 de marzo del año pasado, Mary Jackson irrumpió en la sala de su casa para anunciar que se iba a casar con Larry Adams (su novio de la universidad). Después de recuperarse de la sorpresa, su madre la abrazó y le preguntó "¿Cuándo?" Resultó la siguiente conversación:

Mary: El 22 de abril.

Madre: ¿Qué?

Padre: La boda Adams-Jackson será el éxito social del año. ¿Por qué tan pronto?

Mary: Porque el 22 de abril las flores de cerezo del plantel siempre están en su apogeo. Las fotos de la boda serán muy bonitas.

Madre: Pero, querida, no es posible que termines todas las cosas que es necesario tener listas para entonces. ¿Recuerdas todos los detalles que hubo que ver en la boda de tu hermana? Aunque empezáramos mañana, tardaríamos un día para reservar la iglesia y el salón de recepciones, y se necesita un aviso de al menos 17 días de anticipación. Eso tiene que hacerse antes de empezar a decorar la iglesia, lo que tarda tres días. Pero una contribución adicional de $100 el domingo quizá reduciría el aviso de 17 a 10 días.

Padre: ¡Uf!

Mary: Quiero que Jane Summers sea mi madrina de honor.

Padre: Pero ella está en el Peace Corps, en Guatemala, ¿o no? Tardaría 10 días en estar lista y llegar acá en auto.

Mary: Pero podríamos pagarle un vuelo en dos días, y eso costaría sólo $500. Tendría que estar aquí a tiempo para que le hagan su vestido.

Padre: ¡Uf!

Madre: ¡Y el banquete! Escoger el pastel y las decoraciones de las mesas es cosa de dos días, y la casa Jack's desea un aviso de al menos 10 días de anticipación antes del ensayo de la cena (la noche antes de la boda).

Mary: ¿Puedo usar tu vestido de boda, mamá?

Madre: Bueno, tendríamos que cambiarle el encaje, pero sí podrías usarlo. Pediríamos el encaje desde Nueva York cuando ordenemos el material para los vestidos de las madrinas. Tarda ocho días ordenar y recibir el material. Primero hay que escoger el modelo y eso significa tres días.

Padre: Podríamos tener el material aquí en cinco días si pagamos $25 más para que lo traigan en avión.

Mary: Quiero que la señora Watson trabaje en los vestidos.

Padre: ¡Pero cobra $120 diarios!

Madre: Si nosotros cosemos los vestidos, los terminaríamos en 11 días. Si la señora Watson ayuda, esto se haría en seis días, con un costo de $120 por cada día menos de 11 días.

Mary: No quiero a nadie más que a ella.

Madre: Se necesitarían otros dos días hacer el ajuste final. Normalmente se tardan dos días en lavar y planchar los vestidos, pero la nueva tintorería lo haría en uno si pagamos $30 por servicio exprés.

Padre: Todo debe estar listo antes de la noche de ensayo, y para eso faltan solo 21 días. Apuesto a que será un día muy ocupado.

Madre: Se nos olvida algo: las invitaciones.

Padre: Pediríamos las invitaciones a la imprenta de Bob, y por lo general se tarda 12 días. Apuesto a que lo haría en cinco días si le pago $35 más.

Madre: Tardaríamos tres días en escoger el estilo de las invitaciones antes de ordenarlas, y queremos los sobres con nuestra dirección impresa.

Mary: ¡Oh! Eso sería muy elegante.

Madre: Las invitaciones deben enviarse al menos 10 días antes de la boda; si no, algunos de nuestros parientes las recibirían demasiado tarde para venir, y eso los enojaría. Apuesto a que si no las ponemos ocho días antes de la boda, la tía Ethel no llegaría y reduciría $200 al regalo de bodas.

Padre: ¡Uf!

Madre: Tendremos que llevarlas a la oficina de correos para enviarlas y eso requiere un día. Ponerles las direcciones tardaría cuatro días, a menos que contratáramos a alguien de tiempo parcial, y solo podemos empezar hasta que terminen de imprimirlas. Si contratamos a alguien, tal vez nos ahorremos dos días si gastamos $25 por cada día ahorrado.

Mary: Necesitamos regalos para las madrinas en la cena de ensayo. Puedo dedicar un día a eso.

Madre: Antes de empezar siquiera a escribir las invitaciones necesitamos una lista de invitados. ¡Cielos, ordenar eso tardaría cuatro días, y solo yo entiendo nuestro archivo de direcciones!

Mary: Oh, madre, estoy tan emocionada. Puedo hacer que cada uno de los familiares empiece en una actividad.

Madre: Querida, no veo cómo lo harías. Vamos, tenemos que escoger las invitaciones y los modelos de vestidos y reservar la iglesia y…

Padre: Y por qué no solo tomas $1 500 y te fugas. La boda de tu hermana me costó $1 200 y no tuvo que pagarle el avión a nadie desde Guatemala, ni contratar a nadie adicional, ni carga aérea ni nada por el estilo.

Preguntas

1. Mencione las actividades y relaciones de precedencia descritas en el caso (A) y elabore un diagrama de red para los planes de la boda.
2. Identifique las rutas. ¿Cuáles son críticas?
3. ¿Cuál es el plan de mínimo costo que satisfaga la fecha del 22 de abril?

CASO: Boda en el plantel (B)

Surgieron varias complicaciones al tratar de cumplir con la fecha límite del 21 de abril para el ensayo de la boda Adams-Jackson. Como Mary Jackson fue inflexible con la fecha del 22 de abril (igual que Larry Adams, porque él quería que ella estuviera feliz), hubo que evaluar las implicaciones de cada una de estas complicaciones.

1. El 1 de abril, al presidente del Vestry Committee de la iglesia no le impresionó la donación adicional y se negó a reducir el periodo de aviso anticipado de 17 a 10 días.
2. Una llamada de Guatemala dejó ver que la potencial madrina tenía varios compromisos y no le sería posible salir del país antes del 10 de abril.
3. La madre estuvo cuatro días con gripe cuando empezaba a hacer la lista de invitados.
4. El encaje los materiales del vestido se perdieron en tránsito. Los Jackson recibieron el aviso de la pérdida el 10 de abril por la mañana.
5. Hubo un pequeño incendio en el taller de banquetes el 8 de abril. Se estimó que el taller estaría cerrado dos o tres días por reparaciones.

El padre de Mary Jackson, en particular, estaba preocupado por los gastos y mantuvo su ofrecimiento de $1 500 a Mary y Larry para que se fugaran.

Pregunta

1. A partir de sus respuestas al caso (A), describa los efectos en los planes de la boda con cada uno de los incidentes del caso (B).

Fuente: Adaptado de un caso originalmente escrito por el profesor D. C. Whybank, University of North Carolina, Chapel Hill, Carolina del Norte.

Cuestionario

1. Un proyecto estructurado donde un equipo independiente trabaja de tiempo completo en el proyecto.
2. Etapas específicas que al terminarse marcan un avance importante hacia la terminación de un proyecto.
3. Esto define la jerarquía de tareas, partes de tareas y paquetes de trabajo en un proyecto.
4. Partes de trabajo en un proyecto cuya terminación consume tiempo.
5. Gráfica que muestra tanto el tiempo como la secuencia para completar las actividades de un proyecto.
6. Actividades que en secuencia forman la cadena más larga en un proyecto.
7. Diferencia entre el tiempo de inicio tardío y temprano de una actividad.
8. Cuando las actividades se programan con tiempos de tarea probabilísticos.
9. Procedimiento para reducir el tiempo de terminación de un proyecto al acordar un punto medio entre tiempo y costo.
10. Suposición clave relacionada con los recursos necesarios para completar actividades con el método de ruta crítica.

1. Proyecto puro o de *zorrillo* 2. Etapas 3. Estructura de desglose de un trabajo 4. Actividades 5. Gráfica de Gantt 6. Ruta(s) crítica(s) 7. Tiempo de demora previsible 8. Técnica de evaluación y revisión de programas (PERT) 9. ”Aceleración” 10. Siempre hay recursos disponibles

Bibliografía seleccionada

Gray, C., *Agile Project Management: How to Succeed in the Face of Changing Project Requirements,* Nueva York, American Management Association, 2004.

Gray, C. F. y E. W. Larson, *Project Management: The Managerial Process,* Nueva York, Irwin/McGraw-Hill, 2002.

Kerzner, H., *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling,* 8a. ed., Nueva York, Wiley, 2002.

Lewis, James P., *The Project Manager's Desk Reference,* Nueva York, McGraw-Hill Professional Publishing, 1999.

sección 3

PROCESOS DE UNA CADENA DE SUMINISTRO

LA CADENA DE SUMINISTRO ECOLÓGICA

Una parte importante de las iniciativas de sustentabilidad en organizaciones globales es el estricto examen de los impactos ambientales de sus cadenas de suministro. El término *impacto ambiental* se relaciona con el efecto sobre el ambiente de una cadena de suministro. Es esencial que las empresas organicen sus esfuerzos ecológicos en todos los procesos de cadenas de suministro a partir del perfeccionamiento de productos, adquisiciones, manufactura, empaque, transporte, satisfacción de demanda y manejo de los productos tras su vida útil.

La logística de administración, que se refiere a procesos relacionados con transportes, es quizás una de las labores de ecología más estudiadas en la administración de cadenas de suministro. Hay una relación directa entre la eficiencia del transporte y sus costos. Reducir al mínimo las millas recorridas con medios más eficientes para trasladar bienes y una mejor utilización de la capacidad mediante la consolidación de envíos reduce el consumo de energía y los costos de transporte, al tiempo que reduce las emisiones de carbono.

Cadena de suministro

Capítulo 11

COMPRAS Y ADQUISICIONES GLOBALIZADAS

Global

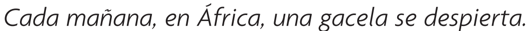
Después de leer este capítulo, usted:

1. Entenderá por qué las decisiones importantes de compras trascienden las simples decisiones de comprar materiales.
2. Demostrará el "efecto látigo" y su importancia para sincronizar el flujo de material entre socios de una cadena de suministro.
3. Describirá cómo las características de oferta y demanda afectan la estructuración de cadenas de suministro.
4. Conocerá la razón para subcontratar capacidad.
5. Ilustrará lo que son compras "ecológicas".
6. Analizará el costo total de la propiedad.
7. Calculará la rotación de inventario y los días de suministro.

El mundo es plano

Aplanador 5: Subcontratación
Aplanador 6: Maquila foránea

El dueño de una fábrica de bombas de combustible en Beijing colocó en su planta de manufactura el siguiente proverbio africano, traducido al mandarín:



Cada mañana, en África, una gacela se despierta.
Sabe que debe correr más rápido que el león más veloz o morirá.
Cada mañana un león se despierta.
Sabe que debe correr más rápido que la gacela más lenta o morirá de hambre.
No importa si eres león o gacela.
Al salir el Sol, será mejor que empieces a correr.

La apertura de China al resto del mundo empezó el 11 de diciembre de 2001, cuando ese país se unió formalmente a la Organización Mundial de Comercio (OMC). Desde el momento en que China se unió a la OMC, tanto esa nación como el resto del mundo tuvieron que correr cada vez más rápido. Esto se debe a que la membresía de China en la OMC fomentó en gran medida otra forma de colaboración: la maquila. La maquila, que existe desde hace varias décadas, es diferente de la subcontratación. Esta última significa tomar una función específica pero limitada que una empresa realiza en forma interna, como investigación, centro de asistencia telefónica o cuentas por cobrar, y pedir a otra que lleve a cabo exactamente la misma función y luego la reintegre a su operación global. En cambio, la maquila es cuando una empresa toma una de sus fábricas que opera en Canton, Ohio, y traslada toda la planta a Cantón, China. Ahí produce el mismo artículo de la misma manera, pero con un costo de mano de obra más bajo, impuestos más bajos, energía subsidiada y menores costos de cuidado de la salud. Así como el nuevo milenio produjo un nivel de subcontratación totalmente nuevo

Adaptado de Thomas L. Friedman, *The World Is Flat* (actualizado y ampliado), Nueva York, Farrar, Straus and Giroux, 2006, p. 136.

en India y todo el mundo, el hecho de que China se uniera a la OMC llevó a Beijing y al resto del mundo a un nivel de fabricación totalmente nuevo, pues cada vez más empresas realizan su manufactura en el extranjero y luego la integran a la cadena de suministro global.

Adquisiciones estratégicas

Adquisiciones estratégicas

La **adquisición estratégica** es el desarrollo y administración de relaciones globales con proveedores para adquirir bienes y servicios de modo que ayude a satisfacer las necesidades inmediatas del negocio. En el pasado, el término *adquisiciones* era solo sinónimo de compras, función corporativa que desde el punto de vista financiero era importante pero estratégicamente no era el centro de atención. Hoy en día, como resultado de la globalización y la poco costosa tecnología de las comunicaciones, la base para competir está cambiando. Una empresa ya no está limitada por su capacidad; lo que importa es su habilidad para disponer de la mayor parte de las capacidades disponibles en el mundo, sean o no de su propiedad. La subcontratación es tan refinada que incluso funciones esenciales como ingeniería, investigación y desarrollo, manufactura, tecnología de información y marketing pueden trasladarse fuera de la empresa.

Cadena de suministro

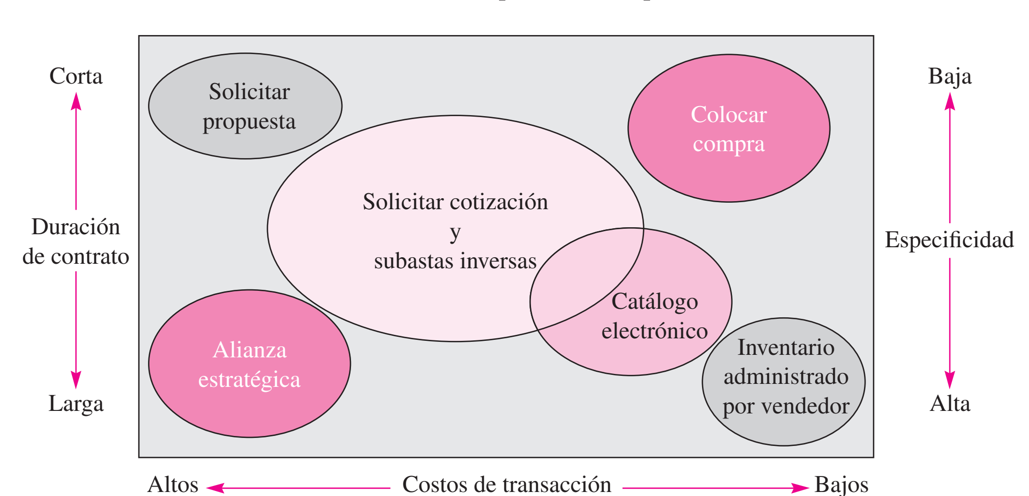
Las actividades de adquisiciones varían en gran medida y dependen del artículo que se compre. La ilustración 11.1 presenta diferentes procesos para adquirir o comprar un artículo. El término *adquirir* implica un proceso más complejo, propio de productos de importancia estratégica. En el diagrama se describen procesos de adquisición desde un simple "anuncio" en medios masivos o una compra única hasta una alianza estratégica de largo plazo. El diagrama sitúa un proceso de adquisición según lo específico del artículo, duración de contrato e intensidad de los costos de transacción.

La *especificidad* se refiere a lo común que sea el artículo y, en un sentido relativo, a cuántos sustitutos puede haber. Por ejemplo, muchos vendedores ofrecen discos DVD en blanco y tendrían poca especificidad; una envoltura a la medida, acojinada y de una forma especial para contener un artículo específico para su envío sería un ejemplo de un artículo de alta especificidad.

Los productos comunes se compran mediante un proceso relativamente sencillo. Para mercancías baratas y de poco volumen, compradas rutinariamente, una empresa puede ordenarlas desde un catálogo en línea. A veces, estos catálogos en línea están personalizados para un cliente. Se establecen identificaciones especiales de usuario para autorizar a empleados del cliente a comprar ciertos grupos de artículos con límites de gasto. Otros artículos requieren procesos más complicados.

Para comprar artículos más complejos o costosos, y cuando puede haber varios vendedores potenciales, por lo general se usa una solicitud de propuesta (SDP). Se prepara y distribuye entre

ILUSTRACIÓN 11.1 Matriz de diseño de adquisición/compra.



los posibles vendedores un paquete detallado de información que describe lo que se ha de comprar. El vendedor entonces responde con una propuesta específica para cumplir con los términos de la SDP. Una solicitud de cotización o subasta inversa es semejante en términos del paquete de información necesario. Una diferencia importante es cómo se negocia el precio de cotización. En la SDP, la cotización forma parte de la propuesta, mientras que en una solicitud de cotización o subasta inversa, los vendedores en realidad cotizan sobre el artículo en tiempo real y a veces mediante software de internet.

Un **inventario administrado por vendedor** es cuando el proveedor toma plena responsabilidad para manejar un artículo o grupo de artículos para el cliente. En este caso el proveedor tiene la libertad de reponer el artículo según lo considere adecuado. Por lo común, hay algunas restricciones relacionadas con el máximo que el cliente está dispuesto a llevar, niveles de servicio requerido y otros procesos propios de facturar una transacción. La selección de los procesos adecuados depende de equilibrar al mínimo entre los costos entregados del proveedor del artículo en un periodo determinado, por ejemplo un año, y los costos del cliente por administrar el inventario. Esto se estudia más adelante en este capítulo, en el contexto del "costo total de propiedad" de un artículo comprado.

Inventario administrado por vendedor

Efecto látigo

Marshall Fisher argumenta que, en muchos casos, existen relaciones de adversidad entre los socios de la cadena de suministro, así como prácticas industriales disfuncionales, como la dependencia de las promociones de precios.[1] Considere la práctica común en la industria alimentaria de ofrecer, cada enero, promociones de precios sobre un producto. En respuesta a esta baja de precio, los minoristas almacenan gran cantidad de producto y en algunos casos compran el suministro de un año, práctica que en la industria se conoce como *compras adelantadas*. Nadie gana en este tipo de negocios. Los minoristas tienen que pagar el transporte del suministro de un año, y el volumen del envío aumenta el costo en todo el sistema de proveedores. Por ejemplo, las plantas del proveedor deben trabajar tiempo extra a partir de octubre para cubrir el volumen. Incluso los distribuidores que suministran a las plantas se ven afectados porque deben reaccionar con rapidez ante el alza en los requerimientos de materia prima.

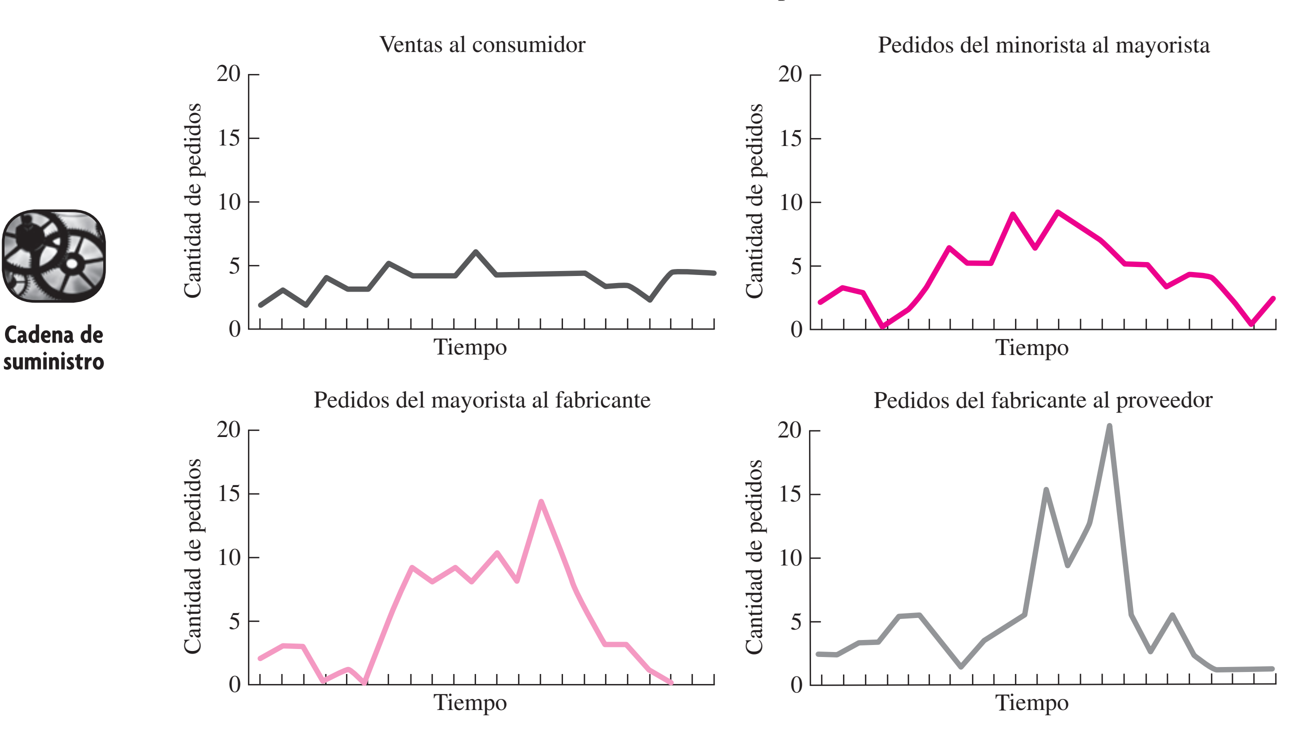
En empresas como Procter & Gamble se estudia el impacto de este tipo de prácticas. La ilustración 11.2 muestra los patrones habituales de pedidos que enfrenta cada eslabón en una cadena de suministro que consiste en un fabricante, un distribuidor, un mayorista y un minorista. En este caso, la demanda es de pañales desechables para bebé. Los pedidos del minorista al mayorista muestran mayor variabilidad que las ventas al consumidor final; los pedidos del mayorista a sus proveedores son los más volátiles. Este fenómeno del aumento de la variabilidad al trasladarse del cliente al productor en la cadena de suministro suele conocerse como **efecto látigo**. Este efecto indica una falta de sincronía entre los miembros de la cadena de suministro. Incluso un pequeño cambio en las ventas al consumidor tiene un efecto en forma de oscilaciones amplificadas hacia arriba, parecido al resultado de un chicotazo producido por un látigo. Como los patrones de suministro no coinciden con los patrones de demanda, en algunas etapas el inventario se acumula y en otras ocurren demoras y escasez. El efecto látigo se presenta en varias empresas de numerosas industrias, como Campbell Soup y Procter & Gamble en productos para el consumidor; Hewlett-Packard, IBM y Motorola en artículos electrónicos; General Motors en automóviles, y Eli Lilly en farmacéuticos.

Efecto látigo

Campbell Soup tiene un programa llamado *reabastecimiento continuo* que ejemplifica lo que muchos fabricantes hacen para estabilizar el flujo de materiales a través de su cadena de suministro. El programa funciona así: Campbell establece vínculos de intercambio electrónico de datos (IED) con los minoristas y ofrece un "precio bajo todos los días" que elimina descuentos. Cada mañana, los minoristas informan electrónicamente a la empresa sobre su demanda de

[1] M. L. Fisher, "What Is the Right Supply Chain for Your Product?", *Harvard Business Review*, marzo-abril de 1997, pp. 105-116.

ILUSTRACIÓN 11.2 Aumento de la variabilidad de los pedidos en la cadena de suministro.



Cadena de suministro

todos los productos de Campbell y el nivel de inventarios en sus centros de distribución. Con esa información, Campbell proyecta la demanda futura y determina qué productos requieren un reabastecimiento con base en los límites de inventario superior e inferior previamente establecidos con cada proveedor. Los camiones salen de la planta de embarque de Campbell esa tarde y llegan a los centros de distribución del minorista con el reabastecimiento necesario ese mismo día. Con este sistema, Campbell reduce los inventarios de los minoristas, que en el sistema antiguo promediaban cuatro semanas de suministro, a cerca de dos semanas.

Esto contribuye a solucionar algunos problemas de Campbell Soup, pero ¿cuáles son las ventajas para el minorista? Casi todos los vendedores al menudeo creen que el costo de manejo de inventario de un producto determinado durante un año representa por lo menos 25% de lo que pagan por el producto. Una reducción de inventario de dos semanas representa un ahorro de costos igual a casi 1% de las ventas. Las ganancias promedio del minorista son de alrededor de 2% de las ventas, de modo que este ahorro es suficiente para aumentar las ganancias 50%. Como el minorista gana más dinero con los productos de Campbell entregados mediante el sistema de reabastecimiento continuo, tiene un incentivo para manejar una línea más extensa y darles más espacio en anaqueles. Campbell Soup descubrió que, después de introducir su programa, las ventas de sus productos aumentaron dos veces más rápido que con otros minoristas.

Fisher elaboró una estructura para ayudar a los gerentes a entender la naturaleza de la demanda de sus productos y luego ideó una cadena de suministro que satisface mejor esa demanda. Muchos aspectos de la demanda de un producto son importantes; por ejemplo, el ciclo de vida del producto, la capacidad de predicción de la demanda, la variedad de productos y los estándares de mercado para los tiempos de entrega y el servicio. Fisher descubrió que los productos se pueden clasificar como principalmente funcionales o innovadores. Como cada categoría requiere un tipo de cadena de suministro muy diferente, la causa principal de los problemas en la cadena de suministro es una diferencia entre el tipo de producto y el tipo de cadena de suministro.

Los **productos funcionales** son los artículos que la gente compra en una amplia variedad de tiendas al menudeo, como supermercados y gasolineras. Como esos productos satisfacen sus necesidades básicas, que no cambian mucho con el paso del tiempo, tienen una demanda estable y predecible, así como ciclos de vida prolongados. Pero su estabilidad invita a la competencia, que a menudo da lugar a márgenes de utilidad bajos. Entre los criterios específicos que sugiere Fisher para identificar los productos funcionales se encuentran los siguientes: un ciclo de vida del producto no mayor de dos años, margen de contribución de 5 a 20%, solo de 10 a 20 variaciones de productos, un error promedio de proyección en el momento de la producción de solo 10% y un tiempo de entrega de los productos sobre pedido de seis meses a un año.

Productos funcionales

Para evitar los márgenes bajos, muchas empresas introducen innovaciones en la moda o tecnología con el fin de dar a los clientes una razón adicional para comprar sus productos. La ropa de moda y las computadoras personales son buenos ejemplos. Aunque la innovación puede permitir que una empresa logre márgenes de utilidades más altos, el simple hecho de que los productos innovadores son nuevos hace que la demanda sea impredecible. Estos **productos innovadores** casi siempre tienen un ciclo de vida de unos cuantos meses. Los imitadores erosionan muy pronto la ventaja competitiva de este tipo de productos y las compañías se ven obligadas a introducir un flujo continuo de innovaciones. Los ciclos de vida cortos y la gran variedad característica de estos productos aumentan aún más la incapacidad de proyección. La ilustración 11.3 resume las diferencias entre productos funcionales e innovadores.

Productos innovadores

Hau Lee amplía las ideas de Fisher para concentrarse en el lado del "suministro" de la cadena.[2] Mientras Fisher captura las características importantes de la demanda, Lee señala que las incertidumbres alrededor del lado del suministro son factores de igual importancia para elegir la estrategia correcta en cuanto a la cadena de suministro.

Lee define un *proceso de suministro estable* como aquel en el que el proceso de manufactura y la tecnología subyacente están maduros y la base de suministro está bien establecida. En cambio, un *proceso de suministro evolutivo* es aquel en el que el proceso de manufactura y la tecnología subyacente siguen en sus primeras etapas de desarrollo y cambian con rapidez.

ILUSTRACIÓN 11.3 Características de incertidumbre de la oferta y la demanda.

Características de la demanda		Características del suministro	
Funcionales	**Innovadoras**	**Estables**	**Evolutivas**
Poca incertidumbre en la demanda	Mucha incertidumbre en la demanda	Menos divisiones	Vulnerable a las divisiones
Demanda más predecible	Difícil de proyectar	Producciones estables y más altas	Producciones variables y más bajas
Vida larga del producto	Temporada de ventas corta	Menos problemas de calidad	Problemas de calidad potenciales
Costo de inventario bajo	Costo de inventario alto	Más fuentes de suministro	Fuentes de suministro limitadas
Margen de utilidad bajo	Margen de utilidad alto	Proveedores confiables	Proveedores poco confiables
Poca variedad de productos	Mucha variedad de productos	Menos cambios en el proceso	Más cambios en el proceso
Volumen más alto	Volumen bajo	Menos limitaciones de capacidad	Capacidad potencial limitada
Costo de salida de inventario bajo	Costo de salida de inventario alto	Fácil de cambiar	Difícil de cambiar
Poca obsolescencia	Mucha obsolescencia	Tiempos de entrega dependientes	Tiempos de entrega variables

[2] Hau L. Lee, "Aligning Supply Chain Strategies with Product Uncertainties", *California Management Review* 44, núm. 3, primavera de 2002, pp. 105-119. Copyright © 2002 por The Regents of the University of California. Con autorización de The Regents.

Como resultado, la base de suministro puede estar limitada tanto en tamaño como en experiencia. En un proceso de suministro estable, la complejidad de la manufactura tiende a ser baja o manejable. Los procesos de manufactura estables suelen estar muy automatizados, y prevalecen los contratos de suministro de largo plazo. En un proceso de suministros evolutivo, el proceso de manufactura requiere muchas mejoras y a menudo está sujeto a divisiones y producciones inciertas. Es probable que la base de suministro no sea confiable, pues los proveedores mismos pasan por innovaciones en sus procesos. La ilustración 11.3 resume algunas de estas diferencias entre los procesos de suministro estables y evolutivos.

Lee argumenta que, si bien el proceso de suministro de los productos funcionales suele ser más maduro y estable, esto no siempre sucede. Por ejemplo, la demanda anual de electricidad y otros productos de servicio en una localidad tiende a ser estable y predecible, pero el suministro de energía hidroeléctrica, que depende de la precipitación pluvial en una región, puede ser errático año tras año. La demanda de algunos productos alimentarios también es muy estable, pero el suministro de los productos (tanto en cantidad como en calidad) depende de las condiciones del clima durante el año. De igual modo, existen productos innovadores con un proceso de suministro estable. La temporada de ventas de los productos de ropa de moda es breve, y su demanda, muy impredecible. Sin embargo, el proceso de suministro es muy estable, con una base de suministro confiable y una tecnología madura en el proceso de manufactura. La ilustración 11.4 ofrece algunos ejemplos de productos con distintas incertidumbres de oferta y demanda.

De acuerdo con Lee, es más difícil manejar una cadena de suministro que pertenece a la columna derecha de la ilustración 11.4 que una de la columna izquierda; y, de igual manera, es más complicado manejar una cadena de suministro que esté en un renglón inferior de la ilustración 11.4 que una en el superior. Antes de establecer una estrategia para la cadena de suministro es necesario entender las fuentes de las incertidumbres subyacentes y explorar formas de reducirlas. Si es posible mover las características de incertidumbre del producto de la columna derecha a la izquierda o del renglón inferior al superior, el desempeño de la cadena de suministro va a mejorar.

Lee define cuatro tipos de estrategias para la cadena de suministro, como lo muestra la ilustración 11.4. Las tecnologías de la información desempeñan un papel importante en la formación de esas estrategias.

Cadena de suministro

- **Cadenas de suministro eficientes.** Son cadenas de suministro cuyas estrategias se dirigen a crear la mayor eficiencia de costos. Para lograr estas eficiencias es necesario eliminar las actividades que no agregan valor, procurar economías de escala, manejar técnicas de optimización para aprovechar al máximo la producción y la distribución, y establecer vínculos de información para garantizar la transmisión de información más eficiente, precisa y eficaz en costos en toda la cadena de suministro.
- **Cadenas de suministro con riesgos compartidos.** Son cadenas de suministro cuyas estrategias se dirigen a reunir y compartir los recursos de modo que permitan conllevar los riesgos de la interrupción del suministro. Una sola entidad en la cadena de suministro puede ser vulnerable a interrupciones, pero si hay más de una fuente de suministro o si se dispone de

ILUSTRACIÓN 11.4 Estructura de la incertidumbre de Hau Lee. Ejemplos y tipos de cadenas de suministro necesarias.

		Incertidumbre de la demanda	
		Baja (productos funcionales)	Alta (productos innovadores)
Incertidumbre de suministro	Baja (proceso estable)	Abarrotes, ropa básica, alimentos, petróleo y gas Cadena de suministro eficiente	Ropa de moda, computadoras, música popular Cadena de suministro sensible
	Alta (proceso evolutivo)	Energía hidroeléctrica, ciertos productos alimentarios Cadena de suministro con riesgos compartidos	Telecomunicaciones, computadoras de alto desempeño, semiconductores Cadena de suministro ágil

otras fuentes se reduce el riesgo de interrupción. Por ejemplo, una empresa puede aumentar el inventario de seguridad de su componente clave para cubrir el riesgo de una interrupción en el suministro, y al compartir el inventario de seguridad con otras empresas que también lo necesitan, puede compartir el costo de mantenerlo. Este tipo de estrategia es común en las ventas al menudeo, donde varias tiendas o distribuidores comparten el inventario. La tecnología de la información es importante para el éxito de estas estrategias, pues la información en tiempo real sobre el inventario y la demanda permite el manejo eficaz en costos y la transportación de bienes entre los socios que comparten el inventario.

- **Cadenas de suministro sensibles.** Son cadenas de suministro que emplean estrategias cuyo propósito es ser flexibles y reaccionar en relación con las necesidades cambiantes y diversas de los clientes. Para ser sensibles, las compañías usan procesos de fabricación sobre pedido y personalización masiva como medio para cubrir las necesidades específicas de sus clientes.
- **Cadenas de suministro ágiles.** Son cadenas que usan estrategias dedicadas a ser sensibles y flexibles ante las necesidades de los clientes mientras comparten los riesgos de escasez o interrupción del suministro al unir sus inventarios y otros recursos. Estas cadenas de suministro manejan estrategias que combinan las fortalezas de las cadenas de suministro "sensibles" y "con riesgos compartidos". Son ágiles porque tienen la habilidad de ser sensibles ante demandas cambiantes, diversas e impredecibles al tiempo que reducen los riesgos de interrupciones del suministro.

La incertidumbre de la oferta y la demanda es un marco adecuado para entender la estrategia de la cadena de suministro. Los productos innovadores con una demanda impredecible y un proceso de suministro evolutivo enfrentan un reto importante. Debido a los ciclos de vida cada vez más breves del producto, es muy grande la presión por un ajuste dinámico y la adopción de una estrategia para la cadena de suministro en las empresas. A continuación exploraremos los conceptos de subcontratación, compras ecológicas y costo total de la propiedad. Son herramientas importantes para enfrentar la incertidumbre de la oferta y la demanda.

Subcontratación

La **subcontratación** es el acto de trasladar parte de las actividades internas de una empresa y las responsabilidades sobre las decisiones a prestadores externos. Los términos del acuerdo se asientan en un contrato. La subcontratación es más que los contratos comunes de compraventa porque no solo se transfieren las actividades, sino también los recursos con los que ocurren las actividades, como gente, instalaciones, equipo, tecnología y otros activos. También se transfieren las responsabilidades para tomar decisiones sobre ciertos elementos. Asumir la plena responsabilidad de esto es una especialidad de los fabricantes contractuales, como Flextronics.[3]

Subcontratación

Los motivos para que una empresa decida subcontratar varían en gran medida. En la ilustración 11.5 se anotan algunas razones para subcontratar y los beneficios que aportan. La subcontratación permite a una empresa concentrarse en las actividades que representan sus competencias básicas. Así, la compañía crea una ventaja competitiva al tiempo que reduce costos. Puede subcontratarse una función completa o solo algunos elementos para que el resto se ejecuten en casa. Por ejemplo, algunos componentes de informática pueden ser estratégicos, otros críticos y otros pueden salir más baratos si los fabrica otra empresa. Identificar una función como susceptible de subcontratación y luego separar la función en sus componentes, permite a quienes toman las decisiones determinar las actividades estratégicas o cruciales y deben permanecer en el interior de la empresa y las que pueden subcontratarse como mercancías. Como ejemplo, se analizará la subcontratación de la función logística.

Ha habido un notable crecimiento de la subcontratación en el área de logística. El término **logística** se refiere a las funciones administrativas que apoyan el ciclo completo de flujos de materiales: desde la compra y el control interno de las materias para producción hasta las adqui-

Logística

[3] "Have Factory Will Travel", *The Economist*, 12-18 de febrero de 2000, pp. 61-62.

ILUSTRACIÓN 11.5 Razones para subcontratar y beneficios resultantes.

Razones financieras
Mejorar el rendimiento de activos al reducir el inventario y vender activos innecesarios. Generar efectivo al vender entidades de bajo rendimiento. Ganar acceso a nuevos mercados, sobre todo en países en desarrollo. Reducir costos mediante una estructura de menor costo. Convertir costos fijos en costos variables.
Razones de mejoras
Mejorar la calidad y productividad. Acortar tiempo de ciclo. Obtener experiencia, conocimientos y tecnologías que de otro modo no se pueden hallar. Mejorar la administración de riesgo. Mejorar credibilidad e imagen al asociarse con mejores proveedores.
Razones organizacionales
Mejorar la eficiencia al concentrarse en lo que se hace mejor. Aumentar la flexibilidad para adaptarse a cambios de demanda de productos y servicios. Aumentar el valor de productos y servicios al mejorar la respuesta a las necesidades del cliente.

siciones, transporte y distribución del producto terminado. El énfasis en existencias esbeltas se traduce en un menor margen de error en las entregas. Las empresas transportistas como Ryder comenzaron a añadir el aspecto de la logística a su negocio y pasaron de trasladar bienes del punto A al punto B a manejar todo o parte de los embarques durante un periodo mayor, por lo general de tres años, y a sustituir a los empleados del remitente con los propios. Ahora, las compañías de logística tienen tecnología compleja de rastreo por computadora que aminora los riesgos del transporte y les permite agregar más valor a las empresas que si realizaran ellas mismas esa función. Los servicios independientes de logística vigilan la carga con tecnología de intercambio electrónico de datos y un sistema de satélite que indica a los clientes exactamente dónde están los choferes y cuándo se harán las entregas. Esta tecnología es crucial en algunos ambientes en los que el tiempo oportuno de entrega puede durar apenas 30 minutos.

Federal Express tiene uno de los más avanzados sistemas para rastrear artículos enviados a través de sus servicios. El sistema está al alcance de todos los clientes en internet. Indica el estado preciso de cada artículo que traslada la compañía. En el sistema se encuentra la información sobre el momento exacto en que se recogió el paquete, cuándo se transfirió entre centros de la red de la compañía y cuándo se entregó. Entre en el sistema a través del sitio electrónico de Federal Express (www.fedex.com). Seleccione su país en la pantalla de inicio y luego seleccione “Rastreo de envíos” en el cuadro de rastreo que está en la parte inferior de la pantalla. Desde luego, para obtener la información necesitaría un número legítimo de rastreo de un artículo que en ese momento estuviera en el sistema. Federal Express integra su sistema de rastreo a muchos sistemas de información de sus clientes.

Otro ejemplo de subcontratación innovadora en logística es Hewlett-Packard, que entregó su almacén de materias primas en Vancouver, Washington, a Roadway Logistics. Los 140 empleados de Roadway operan el almacén las 24 horas del día, los siete días de la semana. Coordinan la entrega de las piezas al almacén y administran el almacenamiento. Se transfirió a los 250 empleados de Hewlett-Packard a otras áreas de la compañía. Hewlett-Packard indica ahorros de 10% en costos de operación de almacenamiento.

Un inconveniente de la subcontratación es que suele provocar despidos. Incluso en los casos en que el socio contrata a los exempleados, los contrata de nuevo con menores sueldos y prestaciones. Muchos sindicatos consideran que la subcontratación es una iniciativa para esquivar los contratos colectivos.

En teoría, la subcontratación es una opción inmejorable. Las empresas se desentienden de sus actividades secundarias, aligeran sus estados financieros y refuerzan el rendimiento sobre el capital si recurren a prestadores independientes de servicios. Pero en la vida real, las cosas son más complicadas. “Es muy difícil determinar qué es indispensable y qué secundario”, afirma Jane Linder, investigadora asociada senior y directora asociada del Institute for Strategic Change

de Accenture, en Cambridge, Massachusetts. "Cuando se considera todo al día siguiente, las cosas cambiaron. El 9 de septiembre de 2001 los trabajadores de seguridad de los aeropuertos eran secundarios; el 12 de septiembre de 2001 eran lo principal para la capacidad del gobierno federal de brindar seguridad a la nación. También pasa a diario en las empresas."[4]

La ilustración 11.6 es un marco teórico útil para que los gerentes tomen las decisiones adecuadas referentes a la estructura de sus relaciones con los proveedores. La decisión trasciende la noción de que las "competencias básicas" deben quedar bajo el control directo de la gerencia de la empresa y que otras actividades deben subcontratarse. En este marco, la decisión parte de un continuo que se extiende desde la integración vertical hasta las relaciones inmediatas.

Una actividad se evalúa con las siguientes características: coordinación requerida, control estratégico y propiedad intelectual. La coordinación requerida se refiere a la dificultad de garantizar que la actividad se integre bien en el proceso general. Las actividades inciertas que requieren muchos intercambios de información en los dos sentidos no deben subcontratarse, mientras que las actividades que se entienden bien y son muy uniformes pueden trasladarse con facilidad a socios comerciales especializados en ellas. El control estratégico se refiere al monto de las pérdidas en que se incurriría si se cortara la relación con el socio. Puede haber muchos tipos de pérdidas importantes que hay

DHL Smart Trucks emplea un tipo de software de planeación de rutas que evita el tráfico del centro de las ciudades y calcula la mejor ruta para entregar sus paquetes. Esto reduce tiempo y costos, además del consumo de combustible y emisiones de CO_2. Los artículos de transporte de correo llevan pegadas etiquetas inteligentes con identificación de radiofrecuencia (IRF) para vigilar la carga del vehículo.

ILUSTRACIÓN 11.6 Marco para estructurar las relaciones con los proveedores.

	Integración vertical (no subcontratar)	Relaciones cercanas (subcontratar)
Coordinación	Interconexiones "embrolladas", tareas adyacentes que incluyen un grado elevado de adaptación mutua, intercambio de conocimientos implícitos y aprendizaje sobre la marcha. La información requerida es muy particular de la actividad	Interconexiones estandarizadas entre actividades contiguas; la información requerida está muy codificada y estandarizada (precios, cantidades, calendarios de entrega, etcétera)
Control estratégico	Muy alto: inversiones importantes en activos muy duraderos y específicos de la relación necesaria para la ejecución óptima de la actividad. Las inversiones no se recuperan si la relación termina: • Ubicación conjunta de instalaciones especializadas • Inversión en identidad de marca • Curvas largas de aprendizaje de información registrada • Inversiones de largo plazo en programas especializados de investigación y desarrollo	Activos muy escasos aplicables a negocios con un gran número de otros clientes o proveedores potenciales
Propiedad intelectual	Protección de la propiedad intelectual poco clara o débil Tecnología fácil de imitar Interconexiones "embrolladas" entre componentes tecnológicos diferentes	Protección firme de la propiedad intelectual Tecnología difícil de imitar Límites "nítidos" entre los componentes tecnológicos

Fuente: Robert Hayes, Gary Pisano, David Upton y Steven Wheelwright, *Operations Strategy and Technology: Pursuing the Competitive Edge*, Nueva York, John Wiley & Sons, 2005, p. 137. Copyright © 2005 John Wiley and Sons. Reimpreso con autorización.

[4] Adaptado de Martha Craumer, "How to Think Strategically about Outsourcing", *Harvard Management Update*, mayo de 2002, p. 4.

que considerar, como instalaciones especializadas, conocimiento de las relaciones con los principales clientes e inversión en investigación y desarrollo. Una consideración final es la posible pérdida de propiedad intelectual debida a la asociación.

Subcontratación de capacidad en 7-Eleven

Con el término *subcontratación de capacidad* se designa la manera en que las compañías se concentran en lo que hacen mejor y subcontratan otras funciones a socios clave. La idea es que tener capacidades quizá no sea tan importante como controlarlas. Esto permite subcontratar muchas más capacidades. Las empresas tienen muchas presiones por mejorar los ingresos y los márgenes de utilidad por el aumento de la competencia. Un área particularmente intensa es el sector de las tiendas de abarrotes, en las que 7-Eleven es un participante importante.

Antes de 1991, 7-Eleven era una de las cadenas de tiendas de abarrotes de mayor integración vertical. Cuando una empresa está integrada verticalmente, controla la mayor parte de sus actividades de la cadena de suministro. En el caso de 7-Eleven, la empresa era propietaria de su red de distribución, que llevaba gasolina a cada tienda, hacía sus propios hielo y dulces, y obligaba a los gerentes a encargarse del mantenimiento del local, tramitación de tarjetas de crédito, pago de nómina e incluso el sistema de tecnología de la información (TI) interna. Durante algún tiempo, 7-Eleven tuvo hasta vacas que producían la leche que se vendía en las tiendas. A 7-Eleven se le dificultaba manejar los costos de tantas funciones diferentes.

En ese entonces, 7-Eleven tenía una sección japonesa que tenía mucho éxito pero que se basaba en un modelo de integración totalmente distinto. Más que seguir un modelo de integración vertical y propiedad de la compañía, las tiendas de Japón se asociaban con proveedores que desempeñaban muchas funciones rutinarias. Los proveedores se especializaban en cada área, mejoraban la calidad y reforzaban el servicio al tiempo que reducían los costos. El modelo japonés consistía en subcontratar todo lo que fuera posible sin poner en peligro el negocio por darles a los competidores información crítica. Según una regla simple, si un socio desempeña una capacidad con más eficiencia que 7-Eleven, esa capacidad debe subcontratarse. En Estados Unidos, la empresa acabó por subcontratar actividades como recursos humanos, finanzas, tecnología de la información, logística, distribución, desarrollo de productos y empaque. 7-Eleven aún conserva el control de toda la información vital y maneja toda la comercialización, costos, posicionamiento, promoción de gasolina y comida para llevar.

En la tabla que sigue se muestra cómo 7-Eleven estructuró sus asociaciones clave.

Actividad	Estrategia de subcontratación
Gasolina	Distribución de productos de combustibles subcontratada. Mantiene el control del precio y promociones. Son las actividades diferenciadoras en sus tiendas.
Bocadillos	Frito-Lay distribuye sus productos directamente en las tiendas. 7-Eleven toma decisiones críticas sobre cantidades pedidas y colocación en anaqueles. 7-Eleven obtiene muchos datos de los hábitos de compra de los clientes locales para tomar estas decisiones por cada tienda.
Comidas preparadas	Empresa conjunta con E. A. Sween: Combined Distribution Centers (CDC), empresa de entrega directa a tiendas que abastece a 7-Eleven de sándwiches y otros alimentos frescos dos veces al día.
Especialidades	Muchas son especialidades creadas para los clientes de 7-Eleven. Por ejemplo, 7-Eleven trabajó con Hershey para desarrollar un dulce utilizando la popular golosina Twizzler. Trabajó con Anheuser-Busch en promociones especiales para NASCAR y las ligas mayores de béisbol.
Análisis de datos	7-Eleven se apoya en un proveedor externo, IRI, para mantener un formato de datos de compra sin dejar de conservar la propiedad de los datos. Solo 7-Eleven ve la combinación real de productos que compran sus clientes en cada lugar.
Nuevas capacidades	American Express abastece los cajeros automáticos. Western Union maneja las transferencias de dinero. CashWorks provee capacidad de cambiar cheques. Electronic Data Systems (EDS) mantiene las funciones de red.

Intel es un excelente ejemplo de una compañía que reconoció la importancia de este marco de decisión a mediados de la década de 1980. A comienzos de esa década, Intel quedó fuera del mercado de los módulos de memoria, que había inventado, por competidores japoneses como Hitachi, Fujitsu y NEC. Estas empresas perfeccionaron capacidades más fuertes para crear y acrecentar complejos procesos de manufactura de semiconductores. En 1985 era claro que una competencia importante de Intel era su capacidad de diseñar sistemas integrados complejos, no la manufactura ni el mejoramiento de procesos para módulos más estandarizados. Como resultado, y ante las pérdidas económicas crecientes, Intel se vio obligada a salir del mercado de los módulos de memoria.

Intel aprendió la lección del mercado de las memorias y cambió su enfoque al mercado de microprocesadores, dispositivos que inventó a finales de la década de 1960. Para no repetir el error de los módulos de memoria, Intel pensó que era esencial poner en práctica capacidades sólidas en el mejoramiento de procesos y manufactura. Una estrategia de "competencia básica" pura habría indicado que Intel se enfocaba en el diseño de microprocesadores y que recurría a socios independientes para que los fabricaran. Sin embargo, por la conexión estrecha entre el mejoramiento de productos semiconductores y el mejoramiento de procesos, depender de terceros independientes para la manufactura habría creado costos en términos de tiempos más largos de mejoramiento. En la década de 1980 Intel invirtió fuertemente en acumular capacidades de primera clase para mejorar procesos y manufactura. Estas capacidades son una de las principales razones de que haya sido capaz de conservar cerca de 90% del mercado de los microprocesadores para computadoras personales a pesar de la capacidad de los competidores, como AMD, de "clonar" los diseños de Intel relativamente pronto. Expandir sus capacidades más allá de su capacidad central original en el diseño de producto fue un ingrediente crucial en el éxito sostenido de Intel.

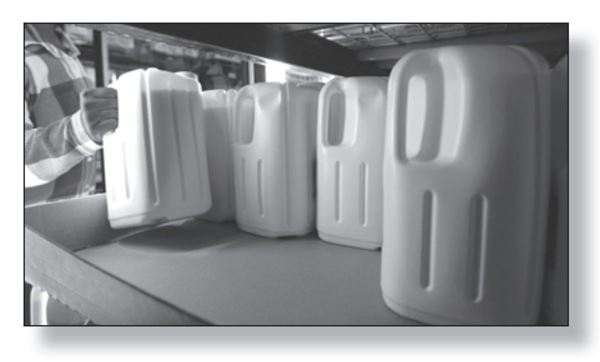
Un buen consejo es mantener o adquirir el control de las actividades que sean verdaderos diferenciadores competitivos o tengan el potencial de generar una ventaja competitiva y subcontratar el resto. Es importante distinguir entre actividades "básicas" y "estratégicas". Las actividades básicas son clave para la empresa pero no confieren una ventaja competitiva, como las operaciones de tecnología de la información bancaria. Las actividades estratégicas son una fuente clave de ventaja competitiva. Como el entorno competitivo cambia con rapidez, las empresas tienen que vigilar la situación constantemente y ajustarse en consecuencia. Por ejemplo, Coca-Cola decidió salir del negocio de las embotelladoras a comienzos del siglo XX para asociarse con embotelladoras independientes, con lo que acumuló con rapidez participación de mercado. La compañía se modificó en la década de 1980, cuando el embotellado se convirtió en un elemento competitivo clave de la industria.

Compras ecológicas

La responsabilidad ante el medio es ya imperativa, y numerosas empresas estudian sus cadenas de suministro para obtener resultados "ecológicos". Una parte importante del interés se relaciona con el modo de trabajar con proveedores, donde la oportunidad de ahorrar dinero y de beneficiar al medio tal vez no sea una proposición excluyente. Los resultados financieros a veces pueden mejorar al reducir costos y también mejorar los ingresos.

Deloitte (www.deloitte.com) ideó un proceso de compras estratégicas ecológicas mediante técnicas convencionales de adquisiciones para ahorrar al aprovechar factores ambientales. Antes de ver este proceso de seis pasos, merece la pena considerar los beneficios de largo plazo de este método. La compra ecológica no es solo hallar nuevas tecnologías que no dañen al ambiente o usar más materiales reciclables. También ayuda reducir costos en varias formas, como sustituir el contenido de un producto, reducir desechos y usar menos cantidades.

Un esfuerzo amplio en compras ecológicas debe evaluar la forma como la empresa utiliza artículos que se compran internamente, en sus propias operaciones o en sus productos y servicios. Como los costos de mercancías, como acero, electricidad y combustibles fósiles, continúa en aumento, las gestiones bien pensadas para hacer compras ecológicas deben hallar formas de reducir en gran medida e incluso eliminar la necesidad de este tipo de mercancías. Por ejemplo,



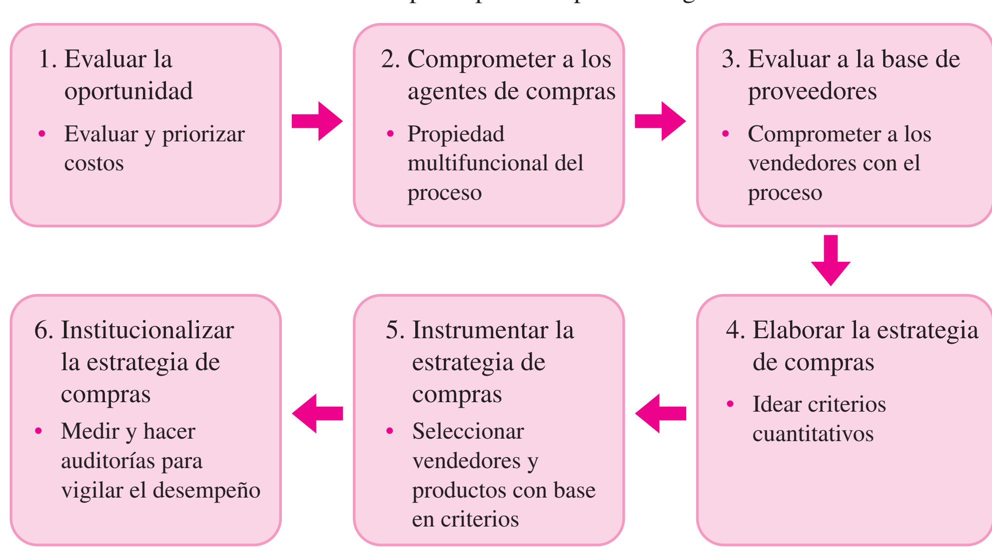
considere la modernización del alumbrado interno de un gran edificio de oficinas mediante una moderna y eficiente tecnología energética. Los ahorros en el costo de electricidad, de 10 a 12% por pie cuadrado, se traducen fácilmente en ahorros de millones de dólares en el costo de electricidad.

Otra área importante de costos en compras ecológicas es la oportunidad de reducir el desperdicio. Esto abarca todo, desde energía y agua hasta empaques y transporte. Un buen ejemplo de esto es el rediseño de un recipiente de leche que introdujeron hace poco algunos de los principales comerciantes minoristas. Con el nuevo recipiente, que tiene más dimensiones rectangulares y una base cuadrada, se reduce 60 o 70% el consumo de agua en comparación con los diseños anteriores porque el nuevo diseño no requiere cajas para leche; estas cajas se ensucian mucho durante su uso por derrames y otros factores naturales, por lo que hay que lavarlos con agua abundante antes de usarlos otra vez, lo cual consume miles de galones de agua. El nuevo diseño también reduce costos de combustible. Como ya no se usan las cajas, no tienen que regresarse a la planta de productos lácteos o punto de distribución de granjas para futuros embarques. Además, los nuevos recipientes tienen el inesperado beneficio de acomodarse mejor en las puertas de refrigeradores del hogar y permite a los vendedores acomodar más de ellos en los refrigeradores de sus tiendas. Las mejoras como el nuevo recipiente de leche son resultado de estrechas sociedades entre usuarios y sus proveedores cuando se esfuerzan en hallar soluciones innovadoras.

Un reciente estudio de una cadena de suministro, a cargo de la Florida International University (vea business.fiu.edu/greensupplychain), reveló que trabajar con proveedores puede generar oportunidades de mejorar los ingresos. Son la oportunidad de convertir productos de desecho en fuentes de ingresos. Por ejemplo, un importante fabricante de bebidas opera una subsidiaria recicladora que abastece de latas de aluminio usadas de un gran número de proveedores. La subsidiaria en realidad procesa más latas de aluminio de las que se usan en los propios productos de la empresa, con lo que genera una fuerte corriente secundaria de ingresos.

En otros casos, las compras ecológicas contribuyen a establecer líneas por completo nuevas de negocios para atender a clientes con conciencia ambiental. En el pasillo de productos de limpieza de un supermercado, los compradores hallarán numerosas opciones de productos de limpieza "ecológicos" que venden numerosas compañías de productos al consumidor. Estos productos suelen tener ingredientes naturales en lugar de productos químicos, y muchos se presentan en cantidades concentradas para reducir los costos totales de empaque.

ILUSTRACIÓN 11.7 Proceso de seis pasos para compras ecológicas.



Fuente: Adaptado de www.deloite.com

Las compras ecológicas también son esenciales para las empresas interesadas en obtener contratos de alto perfil. Ser ecológico puede ser el "ganador de contratos" cuando hay muchas opciones para compras. Por ejemplo, los organizadores de la Convención Nacional Demócrata de Estados Unidos (CND) de 2008 estipularon reglamentos de adquisición ecológica muy estrictos para los proveedores de alimentos de dicha convención. Los que ofrecieron alimentos de granjas locales y orgánicas ganaron la mayor parte de los contratos con la CND.

Los proveedores de logística pueden descubrir que las oportunidades de negocios les llegan directamente como resultado de la tendencia ecológica. Un gran fabricante de automóviles completó un proyecto para hacer ecológica su red de logística/distribución. La empresa automotriz analizó a los transportistas, lugares y eficiencia general de su red de distribución tanto para piezas de repuesto como para automóviles terminados. Al incrementar el transporte de piezas por ferrocarril, consolidar embarques en menos puertos y asociarse con proveedores de logística para aumentar la eficiencia de combustible para transporte marítimo y por carretera, la compañía redujo (en varios miles de toneladas) sus emisiones totales de dióxido de carbono relacionadas con la distribución.

A continuación se presenta el resumen de un proceso de seis pasos (vea la ilustración 11.7) diseñado para transformar un proceso tradicional en uno de compras ecológicas:

1. **Evaluar la oportunidad.** Para una categoría determinada de gasto, es necesario tomar en cuenta todos los costos relevantes. Los cinco aspectos más comunes son electricidad y otros costos de energía; eliminación y reciclado; empaque; sustitución de mercancía (materiales alternativos para sustituir materiales como acero o plástico) y agua (u otros recursos relacionados). Estos costos se identifican e incorporan en un análisis de costo total (a veces conocido como análisis de costo "gastado") en este paso. A partir de este análisis es posible jerarquizar los diferentes costos con base en los potenciales ahorros más altos y críticos para la organización. Esto es importante para dirigir el trabajo hacia donde probablemente tenga más impacto en la posición financiera de la compañía, así como en sus objetivos de reducción de costos.
2. **Comprometer a los agentes de compras internos de la cadena de suministro.** Los agentes de compras internos son quienes, en la empresa, compran artículos y tienen conocimiento directo de las necesidades del negocio, de las especificaciones de producto y otras perspectivas internas inherentes de la cadena de suministro. Estos individuos y grupos necesitan estar "a bordo" y ser socios en el proceso de mejoras para contribuir a establecer objetivos ecológicos realistas. La meta de no generar desperdicios, por ejemplo, se convierte en un trabajo multifuncional de la cadena de suministro cuyo apoyo principal es encontrar y desarrollar a los proveedores adecuados. Estos administradores internos necesitan identificar las oportunidades más importantes; pueden desarrollar un modelo robusto básico a partir del cual se reduzcan costos actuales y en curso. En el caso de adquirir equipo nuevo, por ejemplo, el modelo básico no solo incluiría el precio inicial del equipo como en una compra tradicional, sino también los costos de energía, desechos, reciclado y mantenimiento.

Cadena de suministro

3. **Evaluar la base de suministro.** Un proceso sustentable de compras exige contratar a vendedores nuevos y existentes. Al igual que en las compras tradicionales, la empresa necesita entender los conocimientos del vendedor, restricciones y oferta de producto. El proceso ecológico necesita mejorarse con requisitos formales que se relacionen con oportunidades ecológicas, como posibles sustituciones de mercancías y nuevos procesos de manufactura. Es necesario incorporar estos requisitos en documentos de cotización de vendedores o solicitudes de propuestas (SDP).

   Un buen ejemplo es el concreto que utiliza polvillo de cenizas de plantas generadoras de energía eléctrica alimentadas con carbón. El polvillo de cenizas puede sustituirse por cemento Portland en concreto ya mezclado o en bloque de concreto para fabricar un producto más fuerte y liviano con menor consumo de agua. La sustitución de polvillo de cenizas contribuyó a que una empresa redujese su exposición a los precios volátiles y rápidamente crecientes del cemento. Al mismo tiempo, el menor peso del bloque redujo los costos de transporte a las nuevas instalaciones. Asimismo, fue posible establecer una especificación que incorpora polvillo de cenizas para todos los nuevos sitios de construcción futuros. Por último, la sustitución también proveyó a la planta generadora de energía eléctrica de un

El polvillo de cenizas por lo general se almacena en plantas de energía de carbón o se arroja en tiraderos a cielo abierto, como se ve en la imagen. Cerca de 43% se recicla, lo que reduce el impacto perjudicial en el ambiente proveniente de los tiraderos a cielo abierto.

nuevo mercado para el polvillo de cenizas, que antes tenía que desecharse.

4. **Elaborar la estrategia de compras.** La meta principal de este paso es evaluar el proceso de compras mediante criterios cuantitativos y cualitativos. Estos criterios son necesarios para analizar debidamente los costos y beneficios correspondientes; también es necesario expresar estos criterios en documentos de cotizaciones y SDP al trabajar con potenciales proveedores de modo que sus propuestas aborden las metas importantes relacionadas con la sustentabilidad.
5. **Instrumentar la estrategia de compras.** Los criterios de evaluación del paso 4 deben apoyar la selección de vendedores y productos por cada necesidad del negocio. El proceso de evaluación debe considerar el costo inicial y el costo total de propiedad de los artículos de la cotización. Así, por ejemplo, el equipo eficiente en energía que se propone con un costo inicial más alto puede, en su vida productiva, en realidad ser más barato en virtud de los ahorros de energía y el consecuente menor impacto de carbono. Las oportunidades ecológicas relevantes, como la eficiencia en el uso de energía y la reducción de desperdicios, deben modelarse y luego incorporarse en el análisis de adquisiciones para hacerlas tan completas como sea posible y facilitar un proceso eficaz de selección de vendedores que apoye las necesidades de la empresa.
6. **Institucionalizar la estrategia de compras.** Una vez seleccionado el vendedor y finalizados los contratos, se inicia el proceso de adquisición. Aquí es necesario que el departamento de compras y adquisiciones defina el conjunto de mediciones respecto del cual se evaluará al proveedor mientras dure el contrato. Estas mediciones deben basarse en desempeño, resultados, apego a lineamientos de precios y otros factores semejantes. Es vital considerar también las mediciones relacionadas con las metas de sustentabilidad de la empresa. Asimismo, quizá sea necesario incorporar auditorías periódicas en el proceso para observar directamente las prácticas referentes a estas mediciones para garantizar un reporte de datos fiable.

Un aspecto clave de las adquisiciones ecológicas en comparación con un proceso tradicional es la panorámica más amplia de la decisión de adquisiciones. Esta panorámica requiere incorporar criterios nuevos para evaluaciones distintas, así como un margen más amplio de integración interna por ejemplo con diseñadores, ingenieros y vendedores. Por último, visualizar y captar los ahorros por compras ecológicas a veces comprende una mayor complejidad y periodos de pago más largos en comparación con un proceso tradicional.

Costo total de la propiedad

Costo total de la propiedad

El **costo total de la propiedad** (CTP) es la estimación del costo de un artículo que abarca todos los costos relacionados con su adquisición y uso, como los relacionados con su desecho después de su vida útil. El concepto se aplica a los costos internos de una empresa o, en forma más amplia, a los costos en toda la cadena de suministro. Para apreciar por completo el costo de comprar un artículo de un vendedor particular debe considerarse un método que capte los costos de las actividades asociadas con la compra y el uso real del artículo. Según la complejidad del proceso de compra, las actividades como conferencias previas a una cotización, visitas de proveedores potenciales e incluso visitas a estos últimos ejercen un impacto considerable en el costo total del artículo.

Un análisis de CTP depende en gran medida de la situación real, si bien en general deben considerarse los costos resumidos en la ilustración 11.8. Los costos se clasifican en tres áreas

generales: de adquisición, de propiedad y posteriores a la compra.[5] Los costos de adquisición son los costos iniciales asociados a la compra de materiales, productos y servicios. No son costos de propiedad de largo plazo, pero representan un flujo inmediato de salida de dinero. Los costos de adquisición abarcan los costos previos a la compra asociados a la elaboración de documentos para distribuir a proveedores potenciales, a la identificación y evaluación de proveedores, así como otros costos referentes a la adquisición del artículo. También se incluyen los precios reales de compra, junto con impuestos y costos de transporte.

Se incurre en costos de propiedad después de la compra inicial y se asocian al uso normal del producto o material. Algunos ejemplos de costos cuantificables son la energía eléctrica, mantenimiento programado, reparaciones y financiamiento (situación de renta). También hay costos cualitativos, como factores estéticos (por ejemplo, el artículo es psicológicamente agradable a la vista) y ergonómicos (mejora de productividad o reducción de fatiga). Estos costos de propiedad a menudo exceden el precio inicial de compra y afectan el flujo de efectivo, la rentabilidad e incluso la moral y productividad del personal.

Los costos importantes asociados al periodo posterior a la propiedad son el valor de reventa y los costos de eliminación. Para muchas compras hay mercados establecidos con información útil para estimar valores futuros razonables, como el *Kelley Blue Book* para autos usados. Otras áreas por incluir serían el impacto ambiental de largo plazo (en particular cuando la empresa tiene metas de sustentabilidad), garantía y responsabilidades del producto, y el impacto negativo de marketing de baja satisfacción de clientes con el artículo.

Exagerar en el costo de adquisición o precio de compra suele provocar que no se aborden otros costos importantes de propiedad y posteriores a la propiedad. El CTP es una filosofía para entender todos los costos relevantes de hacer negocio con un proveedor particular para un buen servicio. Esto es importante no solo para una empresa que desee reducir su costo de hacer negocios, sino también si se pretende diseñar productos o servicios con el costo total de propiedad más bajo para los clientes. Por ejemplo, algunos fabricantes de automóviles ampliaron a 160 000 kilómetros el intervalo de afinaciones en muchos modelos, con lo cual se reduce su costo de operación para los propietarios. Ver de este modo el CTP aumenta el valor del producto para clientes existentes y potenciales.

ILUSTRACIÓN 11.8 Costo total de la propiedad.

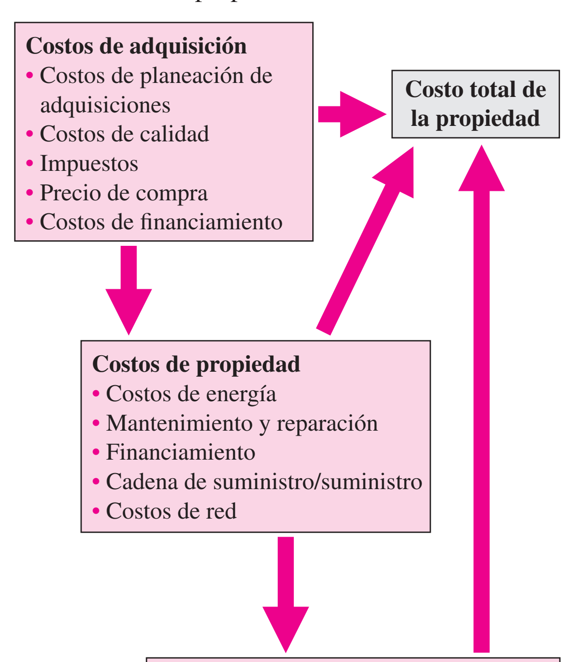


ILUSTRACIÓN 11.9 Análisis de la compra de una copiadora de oficina.

Año	Ahora	1	2	3	4	5	6
Costo de copiadora con instalación	–$120 000						
Inspección requerida por el fabricante				$–9 000			
Entradas de efectivo por usar la máquina		$40 000	$40 000	$40 000	$40 000	$40 000	$40 000
Consumibles para la máquina		$–7 000	$–7 000	$–7 000	$–7 000	$–7 000	$–7 000
Valor de reventa							$7 500
Total de flujos anuales	–$120 000	$33 000	$33 000	$24 000	$33 000	$33 000	$40 500
Factor de descuento $(1 + .2)^{-\text{Año}}$	1 000	0.833	0.694	0.579	0.482	0.402	0.335
Valor presente – anual	–$120 000	$27 500	$22 917	$13 889	$15 914	$13 262	$13 563
Valor presente	–$12 955						

Factor de descuento = 20%.
Nota: Estas cifras tienen toda la precisión de una hoja de cálculo.

[5] Vea David Burt *et al.*, *Supply Management*, 8a. ed., McGraw-Hill/Irwin, 2010, pp. 306-310.

Estos costos se calculan como entradas de efectivo (reventa de equipo usado, etc.) o salidas (precios de compra, demolición de una instalación obsoleta, etc.). El siguiente ejemplo muestra cómo organizar este análisis con una hoja de cálculo. Recuerde que los costos considerados necesitan adaptarse a la decisión que se tome. No hay que considerar en el análisis los costos que no varíen con base en la decisión, pero sí los costos relevantes que varíen con la decisión.

Paso por paso

EJEMPLO 11.1: Análisis del costo total de la propiedad

Considere el análisis de la compra de una máquina copiadora para un centro de copiado. La máquina tiene un costo inicial de $120 000 y se espera que genere ingresos de $40 000 al año.[6] Se supone que los consumibles asciendan a $7 000 anuales, y la máquina requiere inspecciones durante 3 años con un costo de $9 000. Tiene un valor de reventa de $7 500 cuando se planea venderla, en el año 6.

Solución

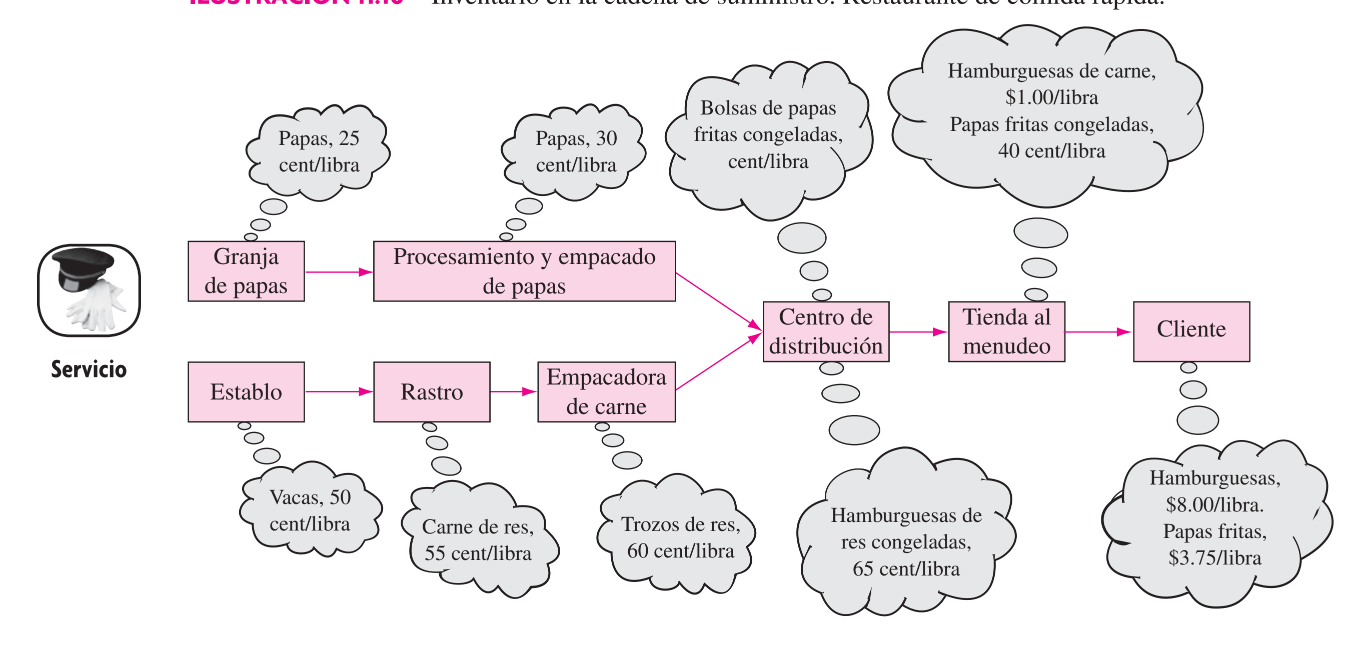
Se ubican estos costos a lo largo del periodo para analizar el uso del valor presente neto y evaluar la decisión. Vea la ilustración 11.9. ¿Los valores presentes de cada flujo anual se descuentan del momento actual? (Consulte en el apéndice E una tabla de valor presente.) Como se aprecia, el valor presente en este análisis muestra que el costo de valor presente de la copiadora es de $12 955. ●

En realidad, el CTP recurre a muchas áreas para un análisis completo. Entre ellas se encuentran finanzas (valor presente neto), contabilidad (fijación de precios y costos), administración de operaciones (confiabilidad, calidad, planeación de inventario y necesidades), marketing (demanda) y tecnología de la información (integración de sistemas). Es probable que sea mejor resolver esto con un equipo multifuncional que represente las áreas operativas indispensables.

Medición del desempeño del suministro

Una perspectiva sobre el suministro se centra en la posición de los inventarios en el sistema. La ilustración 11.10 muestra cómo se almacenan la carne y las papas fritas en distintos lugares en una cadena normal de restaurantes de comida rápida. Aquí se ven los pasos por los que atravie-

ILUSTRACIÓN 11.10 Inventario en la cadena de suministro. Restaurante de comida rápida.



[6] El ejemplo proviene de Burt *et al.*, *Supply Management*, p. 311.

san la carne y las papas hasta llegar al restaurante y luego al cliente. En cada paso se maneja un inventario, el cual representa un costo particular para la empresa. El inventario sirve como amortiguador, pues permite que cada paso opere de manera independiente de los demás. Por ejemplo, el inventario del centro de distribución permite que el sistema que suministra a las tiendas al menudeo opere en forma independiente de las actividades de empacado de carne y papas. En cada etapa se desplaza el inventario, lo cual tiene un costo; por tanto, es importante sincronizar las operaciones de modo que se reduzca el tamaño de los inventarios de amortiguamiento. La eficiencia de la cadena de suministro se mide con base en el tamaño de la inversión en inventario en la cadena. La inversión en inventario se mide en relación con el costo total de los bienes que se suministran en toda la cadena.

Tutoriales: Suministro estratégico

La *rotación de inventario* y las *semanas de suministro* son dos medidas comunes para evaluar la eficiencia de la cadena de suministro. En esencia miden la misma cosa y matemáticamente son inversas. La **rotación de inventario** se calcula como sigue:

Rotación de inventario

$$\text{Rotación de inventario} = \frac{\text{Costo de los bienes vendidos}}{\text{Valor agregado promedio del inventario}} \quad \textbf{(11.1)}$$

El **costo de los bienes vendidos** es el costo anual que se absorbe para producir los bienes o servicios ofrecidos a los clientes; en ocasiones se conoce como *costo del ingreso*. No incluye gastos de ventas ni administrativos de la empresa. El **valor agregado promedio del inventario** es el valor total de todos los artículos mantenidos en el inventario con base en su costo. Incluye materia prima, trabajo en proceso, bienes terminados e inventario de distribución que se consideran propiedad de la empresa.

Costo de los bienes vendidos

Valor agregado promedio del inventario

Los valores adecuados de la rotación del inventario varían según la industria y el tipo de productos manejados. Por un lado, una cadena de supermercados puede tener una rotación de inventario de más de 100 veces al año. Los valores de seis a siete son normales en las empresas de manufactura.

En muchas situaciones, sobre todo cuando el inventario de distribución es el dominante, la medida preferida es la de **semanas de suministro**. Es una medida del valor del inventario en semanas que se encuentra en el sistema en un momento en particular. El cálculo es el que aparece en seguida:

Semanas de suministro

$$\text{Semanas de suministro} = \left(\frac{\text{Valor agregado promedio del inventario}}{\text{Costo de los bienes vendidos}}\right) \times 52 \text{ semanas} \quad \textbf{(11.2)}$$

Cuando los informes financieros de una compañía mencionan la rotación de inventario y las semanas de suministro se supone que las medidas se calculan en toda la empresa. A continuación se muestra un ejemplo de este tipo de cálculo con la información de Dell Computer. Sin embargo, estos cálculos se pueden realizar en entidades individuales dentro de la organización. Por ejemplo, tal vez interesa la rotación de inventario de materia prima para producción o las semanas de suministro asociadas a la operación de almacenamiento de una empresa. En estos casos, el costo sería el relacionado con la cantidad total de inventario que se maneja en el inventario específico. En algunas operaciones que manejan un inventario muy bajo, los días e incluso las horas constituyen una mejor unidad de medida para determinar el suministro.

Una empresa considera que el inventario es una inversión porque su intención es utilizarlo en el futuro. El inventario absorbe fondos que podrían usarse para otros fines, y es probable que una compañía tenga que pedir dinero prestado para financiar la inversión en inventario. El objetivo es tener la cantidad de inventario apropiada y en los lugares correctos de la cadena de suministro. Determinar la cantidad de inventario adecuada en cada posición requiere un análisis a fondo de la cadena de suministro combinado con las prioridades competitivas que definen el mercado para los productos de la empresa.

EJEMPLO 11.2: Cálculo de la rotación de inventario

Paso por paso

Dell Computer indicó los datos siguientes en su informe anual de 2006 (todas las cantidades están en millones):

Ganancias netas (año fiscal 2005)	$49 205
Costo de las ganancias (año fiscal 2005)	$40 190
Materiales de producción disponibles (28 de enero de 2005)	$ 228
Trabajo en proceso y bienes terminados disponibles (28 de enero de 2005)	$ 231
Días de suministro en inventario	4 días

El costo de las ganancias corresponde a lo que se conoce como costo de los bienes vendidos. Cabría pensar que al menos las empresas estadounidenses utilizaran una terminología contable común, pero no es así. El cálculo de la rotación del inventario es

$$\text{Rotación de inventario} = \frac{40\,190}{228 + 231} = 87.56 \text{ rotaciones anuales}$$

Esto es un desempeño sorprendente para una empresa de alta tecnología y explica por qué la empresa tiene tanto éxito financiero.

El cálculo correspondiente de las semanas de suministro es

$$\text{Semanas de suministro} = \left(\frac{228 + 231}{40\,190}\right) \times 52 = .59 \text{ semanas}$$

Resumen

El suministro estratégico es importante para las empresas de hoy. La subcontratación es una forma importante de reducir costos y mejorar al mismo tiempo la actividad estratégica de una empresa. Muchas compañías han disfrutado de un éxito significativo debido a las maneras únicas en que trabajan con sus proveedores. Muchas empresas adoptan estrategias de suministro que incorporan criterios que consideran metas sustentables relacionadas con el medio y la gente.

Las medidas de la eficiencia de la cadena de suministro son la rotación de inventarios y las semanas de suministro. Deben usarse procesos eficientes para productos funcionales y procesos sensibles para productos innovadores. Esta alineación entre la estrategia de la cadena de suministro y las características de los productos reviste extrema importancia para el éxito operativo de la empresa.

Las compañías que enfrentan diversas decisiones de subcontratación, producción y distribución tienen que sopesar los costos de materiales, transporte, producción, almacenamiento y distribución para elaborar una red general diseñada para reducir costos y conservar el medio.

Conceptos clave

Adquisiciones estratégicas Desarrollo y administración de relaciones con un proveedor para adquirir bienes y servicios en forma que ayude a satisfacer las necesidades inmediatas de un negocio.

Inventario administrado por vendedor Cuando un cliente permite al proveedor administrar un artículo o grupo de artículos.

Efecto látigo Variabilidad de la demanda magnificada conforme pasa del cliente al productor en la cadena de suministro.

Productos funcionales Artículos que compra la gente en una amplia variedad de puntos de venta, como tiendas de abarrotes o gasolineras.

Productos innovadores Productos, como ropa de moda y computadoras personales, que suelen tener un ciclo de vida de unos cuantos meses.

Subcontratación Trasladar parte de las actividades internas y la responsabilidad de decisión de una empresa a proveedores externos.

Logística Funciones de administración que apoyan el ciclo completo de flujo de materiales: desde la compra y el control interno de los materiales de producción hasta la planeación y el control del trabajo en proceso, y la compra, embarque y distribución de los productos terminados.

Costo total de la propiedad (CTP) Estimación del costo de un artículo que incluye todos los costos relacionados con su adquisición y uso, inclusive la eliminación del artículo después de su vida útil.

Rotación de inventario Medidas de eficiencia de una cadena de suministro matemáticamente inversas entre sí.

Costo de los bienes vendidos Costo anual de una empresa de producir los bienes o servicios que entrega a los clientes.

Valor agregado promedio del inventario Valor total de todos los artículos en inventario de la empresa, valuados al costo.

Semanas de suministro Medida de cuántas semanas de valor de inventario hay en el sistema en un momento determinado.

Revisión de fórmulas

$$\text{Rotación de inventario} = \frac{\text{Costo de bienes vendidos}}{\text{Valor agregado promedio del inventario}} \quad \textbf{(11.1)}$$

$$\text{Semanas de suministro} = \left(\frac{\text{Valor agregado promedio del inventario}}{\text{Costo de los bienes vendidos}}\right) \times 52 \text{ semanas} \quad \textbf{(11.2)}$$

Preguntas de repaso y análisis

1. ¿Qué cambios recientes causaron que la administración de la cadena de suministro adquiriera importancia?
2. Con tanta capacidad productiva y margen de expansión en Estados Unidos, ¿por qué una empresa establecida en aquel país escogería comprar artículos de una empresa de otra nación? Analice las ventajas y las desventajas.
3. Describa las diferencias entre productos funcionales e innovadores.
4. ¿Cuáles son las características de las cadenas de suministro eficientes, sensibles, a prueba de riesgos y ágiles? ¿Una cadena de suministro puede ser eficiente y sensible? ¿A prueba de riesgos y ágil? ¿Por qué?
5. Como proveedor, ¿qué factores sobre un comprador (su cliente potencial) consideraría importantes para establecer una relación de largo plazo?
6. Describa cómo opera la subcontratación. ¿Por qué una empresa querría subcontratar?

Problemas

1. Uno de sus proveedores de Taiwán cotizó una nueva línea de piezas de plástico moldeadas que actualmente se ensambla en la planta de usted. El proveedor propone cobrar $0.10 por pieza con una demanda pronosticada de 200 000 piezas para el año 1, 300 000 para el año 2 y 500 000 para el año 3. Se estima que el manejo y embarque de piezas desde la fábrica del proveedor costará $0.01 por unidad. Los cargos adicionales por manejo de inventario deben ascender a $0.005 por unidad. Por último, los costos administrativos se estiman en $20 al mes.

   Aunque la planta de usted es capaz de continuar produciendo la pieza, necesitaría invertir en otra máquina moldeadora que costaría $10 000. Los materiales directos se compran en $0.05 por unidad. Se estima que la mano de obra directa será de $0.03 por unidad más 50% de prestaciones sociales; la mano de obra indirecta se estima en $0.011 por unidad más 50% de prestaciones. Los costos directos de ingeniería y diseño ascenderán a $30 000. Por último, la administración insiste en asignar gastos generales si las partes se hacen en casa a razón de 100% de costo de mano de obra directa. La empresa usa un costo de capital de 15% anual.

   ¿Qué haría usted, continuaría produciendo en casa o aceptaría la cotización de su proveedor de Taiwán?
2. La compañía de usted ensambla cinco modelos de patineta de motor que se vende en tiendas especializadas en Estados Unidos. Se usa el mismo motor para los cinco modelos. A usted le asignaron seleccionar un proveedor de estos motores para el año próximo. Debido al tamaño del almacén y otras restricciones administrativas, usted debe ordenar los motores en lotes de 1 000 cada uno. Por las características peculiares del motor, se requieren herramientas especiales durante el proceso de manufactura, para lo cual usted conviene reembolsar al proveedor. Su asistente obtuvo cotizaciones de dos proveedores confiables de motores y usted necesita decidirse por uno. Se recopilaron los siguientes datos:

Necesidades (pronóstico anual)	12 000 unidades
Peso por motor	22 libras
Costo de procesamiento de orden	$125 por orden
Costo de llevar en inventario	20% del valor promedio de inventario por año

Nota: Suponga que la mitad del lote está en inventario en promedio (1 000/2 = 500 unidades).

Dos proveedores calificados enviaron las siguientes cotizaciones:

Precio unitario	Proveedor 1	Proveedor 2
1 a 999 unidades/orden	$510.00	$505.00
1 000 a 2 999 unidades/orden	500.00	498.00
3 000 o más unidades/orden	490.00	488.00
Costos de herramientas	$22 000	$20 000
Distancia	125 millas	100 millas

Su asistente obtuvo las siguientes tarifas de carga de su transportista:

Carga por camión (40 000 cada carga)	$0.80 milla por tonelada
Menos de un camión de carga	$1.20 milla por tonelada

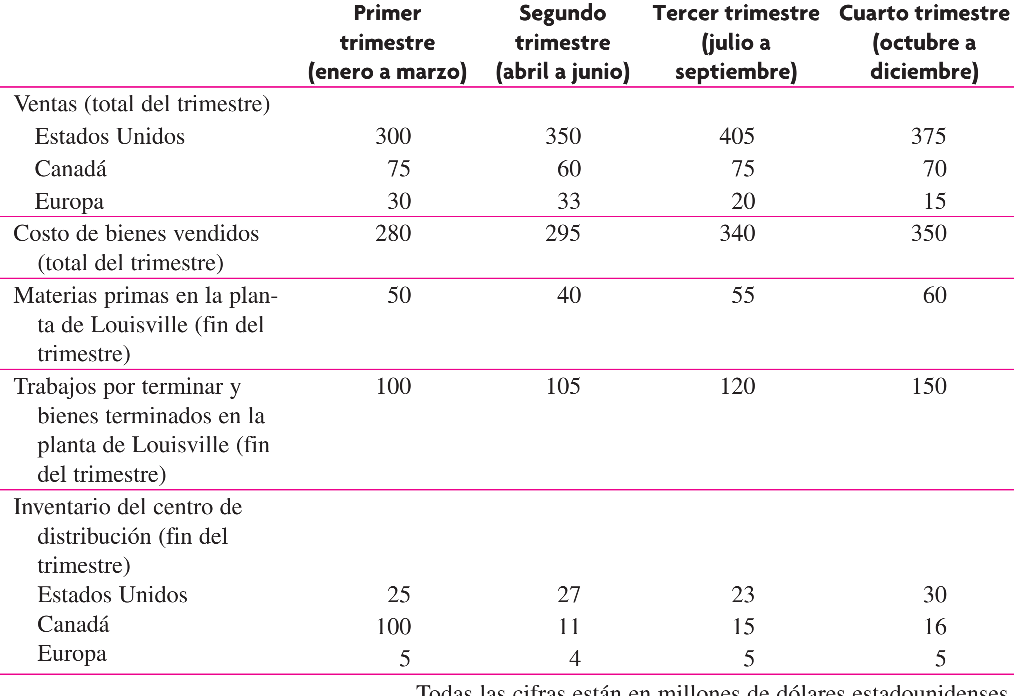
Nota: Milla por tonelada = 2 000 libras por milla.

a) Haga un análisis de costo total de propiedad y seleccione un proveedor.
b) Si usted pudiera mover el lote para enviarlo en cantidades por carga de camión, ¿cambiaría usted al proveedor seleccionado?

3. El restaurante de comida rápida McDonald's del campus vende un promedio de 4 000 hamburguesas de un cuarto de libra cada semana. La carne para hamburguesas se suministra dos veces por semana y, en promedio, la tienda tiene 350 libras de hamburguesas en existencia. Suponga que una hamburguesa cuesta $1.00 por libra. ¿Cuál es la rotación de inventario de la carne para hamburguesas? En promedio, ¿cuántos días de suministro tiene disponibles?

4. La compañía U.S. Airfilter lo contrató como asesor de cadenas de suministro. La compañía fabrica filtros de aire para sistemas domésticos de calefacción y acondicionamiento de aire. Estos filtros se producen en una única planta, en Louisville, Kentucky, Estados Unidos. Se distribuyen a las tiendas a través de centros de mayoreo en 100 localidades de Estados Unidos, Canadá y Europa. Usted reunió los datos siguientes relacionados con el valor del inventario de la cadena de suministro de U.S. Airfilter:

Excel: U.S. Airfilter



	Primer trimestre (enero a marzo)	Segundo trimestre (abril a junio)	Tercer trimestre (julio a septiembre)	Cuarto trimestre (octubre a diciembre)
Ventas (total del trimestre)				
Estados Unidos	300	350	405	375
Canadá	75	60	75	70
Europa	30	33	20	15
Costo de bienes vendidos (total del trimestre)	280	295	340	350
Materias primas en la planta de Louisville (fin del trimestre)	50	40	55	60
Trabajos por terminar y bienes terminados en la planta de Louisville (fin del trimestre)	100	105	120	150
Inventario del centro de distribución (fin del trimestre)				
Estados Unidos	25	27	23	30
Canadá	100	11	15	16
Europa	5	4	5	5

Todas las cifras están en millones de dólares estadounidenses

a) ¿Cuál es la rotación promedio del inventario de la empresa?
b) Si se le encargara la tarea de aumentar la rotación de inventarios, ¿en qué se concentraría? ¿Por qué?
c) La empresa indicó que usó materias primas por valor de 500 millones de dólares durante el año. En promedio, ¿cuántas semanas de suministro de materias primas tiene la fábrica?

Caso: Pepe Jeans

Pepe comenzó a producir y vender pantalones de mezclilla a inicios de la década de 1970 en el Reino Unido y alcanzó un enorme crecimiento. El éxito de Pepe fue resultado de un enfoque único en un mercado de productos dominado por marcas fuertes y poca variedad. Pepe presentó una variedad de estilos de pantalones que ofrecían mejor ajuste que los tradicionales de cinco bolsillos (como los que hace Levi Strauss en Estados Unidos), en particular para las damas. El surtido de Pepe de estilos básicos se modifica con cada temporada, pero todos mantienen la identidad con un nombre un tanto caprichoso puesto en forma prominente y del mismo material en el punto de venta. Se aplican variaciones como tela deslavada, adornos de cuero e incluso marcas de diseñador para responder a las cambiantes tendencias de la moda. Para saber más sobre Pepe y sus productos, visite su sitio electrónico en http://www.pepejeans.com

La fuerza de la marca de Pepe es tal que la empresa puede pedir un precio de venta de alrededor de 45 libras (1 libra equivale a alrededor de 1.8 dólares) para sus productos normales. Un porcentaje elevado de las ventas de Pepe se efectúa en unas 1 500 tiendas independientes en el Reino Unido. La empresa mantiene contacto con sus vendedores independientes a través de un grupo de aproximadamente 10 agentes que también son independientes y trabajan en forma exclusiva para Pepe. Cada agente es responsable de las tiendas de un área particular del país.

Pepe está convencida de que una buena relación con las tiendas independientes es vital para el éxito. El agente se reúne con cada distribuidor al menudeo tres o cuatro veces por año para presentar las nuevas colecciones y tomar los pedidos de ventas. Como el número de cuentas de cada agente es tan grande, muchas veces el contacto se realiza mediante una presentación en un hotel, con varias tiendas. Los agentes levantan los pedidos para entrega en seis meses. Cuando Pepe recibe los pedidos, la tienda tiene solo una semana para cancelar, por la necesidad de colocar inmediatamente pedidos en firme a Hong Kong y cumplir así con las fechas de entrega. La compañía tiene desde hace mucho una política de no tener inventarios de pantalones en el Reino Unido.

Después de tomar y confirmar un pedido, el resto del proceso hasta la entrega se administra en las oficinas de Pepe en Willesden. El estado de los pedidos se verifica en el sitio en internet administrado por Pepe. Los pedidos concretos se envían a un agente de suministro en Hong Kong, que dispone la fabricación de los pantalones. El agente de suministro maneja todos los detalles de materiales, fabricación y embarque de las prendas terminadas a las tiendas. Pepe tiene un sobresaliente equipo interno de diseñadores jóvenes encargados de desarrollar estilos nuevos y el material acompañante en el punto de venta. Los pantalones se fabrican con las especificaciones que indica este equipo. El equipo trabaja muy estrechamente con el agente en Hong Kong para asegurarse que la ropa esté bien hecha y el material sea de la mayor calidad.

En una encuesta reciente de tiendas independientes se detectaron algunos problemas de crecimiento. Los independientes elogian el ajuste, calidad y variedad de los pantalones de mezclilla de Pepe, aunque muchos piensan que están mucho menos a la moda que en sus primeros días. Se pensaba que la variedad de estilos y calidad de Pepe eran la ventaja fundamental de la compañía sobre la competencia. Sin embargo, los independientes no estaban contentos con el requisito de Pepe de los seis meses de antelación para los pedidos y sin posibilidad de enmienda, cancelación o repetición. Algunos encuestados afirmaron que el sistema de pedidos tan inflexible los obligaba a solicitar menos, lo que daba lugar a que se agotaran ciertas tallas y estilos. Los vendedores estimaron que las ventas de Pepe se elevarían alrededor de 10% con un sistema de pedidos más flexible.

Los vendedores esperaban tener existencias de lento movimiento, pero el pedido con seis meses de adelanto les dificultaba el trámite y empeoraba el problema. Como el mercado de la moda es tan impulsivo, los favoritos actuales ya no estarán de moda dentro de seis meses. Por otro lado, cuando la demanda supera las expectativas, pasa mucho tiempo para que se surta el faltante. Lo que querían los vendedores era algún método limitado de devoluciones, intercambio o modificación de pedidos para superar lo peor de los problemas. Pepe sentía la presión de responder a estas quejas, porque algunos de sus competidores de menor tamaño ofrecían entregas en pocos días.

Pepe ha tenido un considerable éxito financiero con su modelo de negocios actual. Las ventas el año anterior fueron de más o menos 200 millones de libras. El costo de las ventas representó cerca de 40%, los costos de operación, 28%, y las utilidades antes de descontar los impuestos, 32% de las ventas. La empresa no tiene deudas de largo plazo y tiene una posición de efectivo muy sólida.

Pepe sentía mucha presión y pensaba que pronto necesitaría un cambio. Al evaluar opciones, la empresa descubrió que lo más fácil sería trabajar con el agente de Hong Kong para reducir el tiempo de antelación de los pedidos. El agente estuvo de acuerdo en acortar los plazos, incluso hasta a menos de seis semanas, pero los costos aumentarían de manera significativa. En la actualidad, el agente toma pedidos durante cierto tiempo y más o menos cada dos semanas los saca a concurso entre unos 1 000 proveedores potenciales. El agente estimó que los costos subirían hasta 30% si el tiempo de entrega se reducía a seis semanas. Aun con el aumento significativo de los costos, sería difícil respetar el calendario de entregas.

El agente le sugirió a Pepe que considerara la construcción de un centro de acabado en Reino Unido. El agente le indicó que una gran cadena de tiendas en Estados Unidos había adoptado esta estructura con mucho éxito. Básicamente, toda la operación de acabado para la cadena estadounidense consistía en aplicar diferentes grados de lavado a los pantalones para darles distinto aspecto de "usado". La operación estadounidense también toma pedidos de tiendas y los expide. La empresa estadounidense descubrió que podía dar tiempo de respuesta de dos días a las tiendas.

El agente de suministro indicó que los costos de los pantalones básicos (sin deslavar) podrían reducirse quizá 10%, porque los volúmenes serían mayores. Además, el tiempo de adelanto de los pantalones básicos se reduciría a alrededor de tres meses, porque se eliminaría el paso del terminado y los pedidos serían más grandes.

A los diseñadores de Pepe les pareció interesante la idea, así que visitaron la cadena estadounidense para ver cómo funcionaba el sistema. Descubrieron que necesitarían mantener suministros de pantalones para cerca de seis semanas en el Reino Unido y tendrían que invertir en equipo alrededor de un millón de libras. Estimaron que costaría unas 500 000 libras al año operar las instalaciones, las cuales se establecerían en la oficina actual de Willesden, y la remodelación costaría más o menos 300 000 libras.

Preguntas

1. En calidad de asesor externo, ¿qué recomendaría a Pepe? Con los datos del caso, realice un análisis financiero para evaluar las opciones que identificó (suponga que el nuevo inventario se valora a seis semanas del costo anual de las ventas; use una tasa de costo de inventario de 30%). Calcule el periodo de pago de cada opción.
2. ¿Hay otras opciones que Pepe debe considerar?

Fuente: La idea para este caso provino de "Pepe Jeans", de D. Bramley y C. John, de London Business School. Pepe Jeans es una empresa real, pero los datos del caso no representan los datos verdaderos de la empresa.

Cuestionario

1. Se refiere a lo común que es un artículo o a cuántos sustitutos hay.
2. Cuando un cliente permite que el proveedor administre un artículo o grupo de artículos.
3. Fenómeno caracterizado por mayor variación al colocar una orden cuando se pasa del cliente al fabricante en la cadena de suministro.
4. Productos que satisfacen necesidades básicas y no cambian mucho con el tiempo.
5. Productos con ciclos de vida útil breves y por lo general con altos márgenes de utilidad.
6. Cadena de suministro que debe enfrentar altos niveles de incertidumbre en oferta y demanda.
7. Con el fin de manejar altos niveles de incertidumbre en oferta, una empresa reduciría riesgos con esta estrategia.
8. Se usa para describir funciones relacionadas con el flujo de material en una cadena de suministro.
9. Cuando una empresa trabaja con proveedores para buscar oportunidades de ahorrar dinero y beneficiar el ambiente.
10. Se refiere a una estimación del costo de un artículo que abarca todos los costos relacionados con su adquisición y uso, inclusive los costos de eliminación después de su vida útil.

1. Especificidad 2. Inventario administrado por vendedores 3. Efecto látigo 4. Productos funcionales 5. Productos innovadores 6. Cadena ágil de suministro 7. Múltiples fuentes de suministro (agrupación) 8. Logística 9. Compras ecológicas 10. Costo total de propiedad

Bibliografía seleccionada

Bowersox, D. J., D. J. Closs y M. B. Cooper, *Supply Chain and Logistics Management,* Nueva York, Irwin/McGraw.Hill, 2002.

Burt, D. N., D. W. Dobler y S. L. Starling, *World Class Supply Management[SM]: The Key to Supply Chain Management,* 7a. ed., Nueva York, McGraw-Hill/Irwin, 2003.

Chopra, S. y P. Meindl, *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operations,* 2a. ed., Upper Saddle River, Nueva Jersey, Prentice Hall, 2003.

Greaver II, M. F., *Strategic Outsourcing: A Structured Approach to Outsourcing Decisions and Initiatives,* Nueva York, American Management Association, 1999.

Hayes, R., G. Pisano, D. Upton y S. Wheelwright, *Operations Strategy and Technology: Pursuing the Competitive Edge,* Nueva York, John Wiley & Sons, 2005.

Simchi-Levi, D., P. Kaminski y E. Simchi-Levi, *Supply Chain Management,* 2a. ed., Nueva York, McGraw-Hill, 2003.

Vollmann, T., W. L. Berry, D. C. Whybark y F. R. Jacobs, *Manufacturing Planning and Control Systems for Supply Chain Management: The Definitive Guide for Professionals,* Nueva York, McGraw-Hill/Irwin, 2004.

Capítulo 12

UBICACIÓN, LOGÍSTICA Y DISTRIBUCIÓN

FedEx: compañía global líder en logística

FedEx ofrece a sus clientes diversas soluciones de logística. Estos servicios se segmentan según las necesidades del cliente, desde centros de distribución estratégicos hasta servicios de logística de gran escala que incorporan entregas inmediatas. A continuación se presentan algunos de los principales servicios para clientes empresariales:

Servicio

Cadena de suministro

Global

Centros de distribución de FedEx: Estos centros ofrecen a las empresas servicios de almacenamiento estratégico mediante una red de almacenes en Estados Unidos y el extranjero. Este servicio se dirige sobre todo a empresas cuyo tiempo es muy importante. Los bienes guardados en estos centros están disponibles de manera continua para su entrega en 24 horas.

Manejo de devoluciones de FedEx: Las soluciones de devoluciones de FedEx están diseñadas para agilizar el área de devoluciones de una empresa en la cadena de suministro. Estas herramientas de proceso inteligentes dan a los clientes servicios que ofrecen recolección, entrega y rastreo en línea para los artículos que es necesario devolver.

Otros servicios de valor agregado: FedEx ofrece a sus clientes muchos otros servicios de valor agregado. Un ejemplo es un servicio de combinación en tránsito para muchos clientes que requieren entregas urgentes. Por ejemplo, en el programa de combinación en tránsito para un empacador de computadoras, FedEx almacena productos periféricos como monitores e impresoras en su centro aeroportuario de Memphis y los añade a la computadora durante su envío al cliente.

Después de leer este capítulo, usted:

1. Describirá lo que es un proveedor de tercera parte logística.
2. Evaluará los problemas principales que es necesario considerar para ubicar una planta o almacén.
3. Establecerá un modelo de transporte para analizar problemas de ubicación y hallará soluciones a estos modelos con Excel Solver.
4. Entenderá el método del centroide para ubicar entidades como torres de comunicaciones de teléfonos celulares.
5. Sabrá cómo usar un sistema de clasificar factores para elegir por eliminación potenciales sitios de ubicación.

Logística

Cadena de suministro

Global

Un aspecto importante al diseñar una cadena de suministro eficiente para bienes fabricados es determinar el trayecto de la planta del fabricante al cliente. En el caso de los productos para el consumidor, este proceso comprende a menudo desplazar el producto de la planta de manufactura al almacén y luego al punto de venta. Quizá no piense en ello con frecuencia, pero considere todos estos artículos con la etiqueta "Hecho en China"; es muy probable que esa prenda haya viajado más que usted. Si vive en Chicago, Estados Unidos, y la prenda se fabricó en la región Fujian, China, quizá recorrió más de 10 600 kilómetros, casi la mitad de una vuelta al mundo, para llegar a la tienda donde la compró. A fin de mantener bajo el precio es necesario que el viaje sea lo más eficiente posible. No se sabe cómo viajó esa prenda; probablemente lo hizo en avión o en una combinación de vehículos, parte del camino en camión y el resto en barco o avión. La logística se ocupa de llevar los productos a través de la cadena de suministro.

Logística

La Association for Operations Management define la **logística** como "el arte y la ciencia de obtener, fabricar y distribuir el material y el producto en el lugar y las cantidades apropiados". Es una definición muy amplia, y este capítulo se enfoca en la forma de analizar la ubicación de almacenes y fábricas, y de evaluar el traslado de materiales hacia esos lugares y desde ellos. El término **logística internacional** se refiere a la gestión de estas funciones en una escala mundial. Es evidente que si una prenda hecha en China se vende en Estados Unidos y Europa, su comercialización requiere una logística internacional.

Logística internacional

Hay compañías que se especializan en logística, como United Parcel Service (UPS), Federal Express (FedEx) y DHL. Estas empresas globales están en el negocio de transportar todo, desde flores hasta equipo industrial. En la actualidad, una empresa manufacturera contrata a una de logística para que se haga cargo de muchas de estas funciones. En este caso, las compañías de transporte se conocen como **compañías de tercera parte logística**. La función más básica es llevar productos de un lugar a otro; pero es probable que además ofrezcan servicios adicionales, como manejo de almacenes, control de inventario y otras funciones de servicio a clientes.

Compañías de tercera parte logística

La logística es un gran negocio: representa de 8 a 9% del producto interno bruto de Estados Unidos, y va en crecimiento. Los centros de almacenamiento y distribución actuales, modernos y eficientes, son el corazón de la logística. Estos centros se operan y administran con cuidado para garantizar el almacenamiento seguro y el flujo rápido de bienes, servicios e información relacionada desde el punto de origen hasta el punto de consumo.

Decisiones sobre logística

El problema de decidir cómo transportar mejor los bienes de las plantas a los clientes es complejo y afecta el costo de un producto. Comprende esfuerzos importantes relacionados con el costo de transporte del producto, la rapidez de la entrega y la flexibilidad para reaccionar ante los cambios. Los sistemas de información desempeñan un papel importante en la coordinación de actividades, e implican tareas como distribución de recursos, manejo de niveles de inventario, programación y rastreo de pedidos. Un análisis completo de estos sistemas trasciende el tema de esta obra, pero en capítulos posteriores se revisa el control de inventarios básico y su programación.

Una decisión clave consiste en cómo transportar el material. La matriz de diseño de sistemas logísticos que muestra la ilustración 12.1 presenta las opciones básicas. Hay seis medios de transporte que son muy populares: carretera (camiones), agua (barcos), aire (aviones), vías férreas (trenes), ductos y entrega en mano. Cada modo es adecuado para manejar ciertos tipos de productos, como se describe a continuación:

- **Carretera (camión).** En realidad, pocos productos se desplazan sin un tipo de transporte por carretera. Las carreteras ofrecen mucha flexibilidad para transportar bienes a casi cualquier lugar

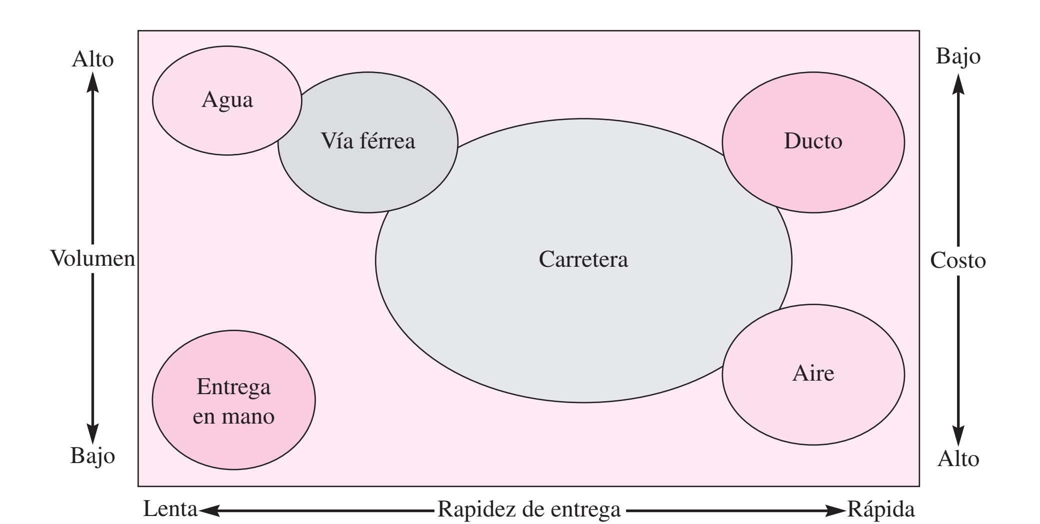


ILUSTRACIÓN 12.1
Matriz de diseño de sistemas de logística: estructura que describe los procesos de logística.

que no esté separado por agua. El tamaño del producto, su peso y su condición de líquido o bulto no afectan este modo de transporte.

- **Agua (barco).** Capacidad muy alta y costo muy bajo, pero los tiempos de tránsito son lentos, y grandes áreas del mundo no son accesibles para la transportación por agua. Este modo es útil sobre todo para artículos muy voluminosos, como petróleo, carbón y productos químicos.
- **Aire.** Rápido pero costoso. Los artículos pequeños, ligeros y costosos son los más apropiados para este modo de transporte.
- **Vías férreas (trenes).** Es una opción de bajo costo, pero los tiempos de tránsito pueden ser largos y estar sujetos a la variabilidad. Lo adecuado del tren varía según la infraestructura férrea. La infraestructura europea está muy desarrollada, por lo que resulta una opción atractiva en comparación con los camiones, mientras que en Estados Unidos la infraestructura declinó en los pasados 50 años, por lo que resulta menos atractiva.
- **Ductos.** Un modo de transporte muy especializado y limitado a líquidos, gases y sólidos suaves. No es necesario empacarlos y los costos por milla son bajos. No obstante, el costo inicial de construir un ducto es muy alto.
- **Entrega en mano.** Este es el último paso en muchas cadenas de suministro. Hacer llegar el producto al cliente es una actividad relativamente lenta y costosa debido a la gran cantidad de mano de obra involucrada.

Pocas empresas utilizan un solo medio de transporte. Las soluciones multimodales son muy comunes, y encontrar las estrategias multimodales correctas puede ser un problema significativo. El problema de la coordinación y programación de los transportistas requiere sistemas de información muy completos capaces de rastrear los productos en todo el sistema. A menudo se utilizan contenedores estandarizados con el fin de transferir el producto con eficiencia de un camión a un avión o barco.

CROSS-DOCKING

Se utilizan almacenes de consolidación especiales cuando los embarques de varias fuentes se unen y combinan en embarques mayores con un destino común. Esto aumenta la eficiencia de todo el sistema. El **cross-docking** es una estrategia de estos almacenes de consolidación conforme a la cual, en lugar de hacer envíos más grandes, se dividen en envíos más pequeños para la entrega local en un área. A menudo esto se efectúa de manera coordinada a fin de que los bienes nunca se almacenen como inventario.

Cross-docking

Los minoristas reciben los envíos de muchos proveedores en sus almacenes regionales y de inmediato ordenan los envíos de entrega a cada tienda mediante cross-docking. Esto suele coordinarse mediante sistemas de control computarizados y da como resultado una cantidad mínima de inventario manejado en los almacenes.

Sistemas de centros y derivaciones

Los **sistemas de centros y derivaciones** combinan la idea de la consolidación y el cross-docking. En este caso, el almacén se conoce como "centro" y su único propósito es clasificar bienes. Los productos que llegan se clasifican de inmediato a las áreas de consolidación, cada una de las cuales tiene designado un lugar de envío específico. Los centros se ubican en lugares estratégicos cerca del centro geográfico de la región a la que sirven para reducir la distancia que debe viajar un producto.

El diseño de estos sistemas es una tarea interesante y compleja. La sección siguiente se enfoca en el problema de la ubicación de plantas y almacenes como representativo del tipo de decisiones de logística que es necesario tomar. La logística es un tema muy amplio y sus elementos evolucionan conforme se amplían los servicios de valor agregado ofrecidos por las empresas de logística. Tener una red con diseño apropiado es fundamental para la eficiencia en la industria.

Problemas de ubicación de instalaciones

Global

El problema de la ubicación de las instalaciones está presente tanto en empresas nuevas como en existentes, y su solución es crucial para su eventual éxito. Un elemento importante al diseñar una cadena de suministro es la ubicación de sus instalaciones. Por ejemplo, 3M mudó una parte importante de su actividad corporativa, incluso investigación y desarrollo, al clima más templado de Austin, Texas. Toys "Я" Us abrió instalaciones en Japón como parte de su estrategia global. Disney eligió París, Francia, para su parque temático europeo, y BMW arma el auto deportivo Z3 en Carolina del Sur. Las decisiones de ubicación de las compañías de servicio y manufactura están guiadas por diversos criterios definidos por los imperativos competitivos. A continuación se analizan los criterios que influyen en la planeación de la ubicación de una planta de manufactura y un almacén.

Cercanía con los clientes. Por ejemplo, NTN Driveshafts de Japón construyó una importante planta en Columbus, Indiana, para estar más cerca de las principales plantas de manufactura automotriz en Estados Unidos, cuyos compradores quieren que los bienes se entreguen ayer. Dicha cercanía contribuye también a garantizar que las necesidades del cliente se tomen en cuenta en el desarrollo y armado de los productos.

Clima de negocios. Un clima de negocios favorable implica la presencia de empresas de tamaño similar y la misma industria, y, en el caso de los sitios internacionales, de otras empresas extranjeras. La legislación gubernamental favorable para las empresas y la intervención del gobierno local para facilitar los negocios ubicados en cierta área mediante subsidios, reducción de impuestos y otro tipo de apoyo también son factores importantes.

Costos totales. El objetivo es seleccionar un sitio con el costo total más bajo. Esto incluye costos regionales y de distribución interna y externa. Los costos del terreno, construcción, mano de obra, impuestos y energía constituyen los costos regionales. Además, existen costos ocultos que resulta difícil medir. Estos comprenden 1) el movimiento excesivo del material de preproducción entre ubicaciones antes de la entrega final a los clientes y 2) la pérdida de la capacidad de respuesta al cliente debido a la lejanía de la base de clientes más importante.

Infraestructura. El transporte por carretera, ferrocarril, aire o mar es vital, pero también es preciso cubrir los requerimientos de energía y telecomunicaciones. Además, la disposición del gobierno local a invertir en la actualización de la infraestructura en los niveles requeridos puede ser un incentivo para seleccionar una ubicación específica.

Calidad de mano de obra. Los niveles educativos y de habilidades de la mano de obra deben corresponder a las necesidades de la compañía. La disposición y capacidad de aprender son todavía más importantes.

Proveedores. Una base de proveedores competitivos y de alta calidad hace que una ubicación determinada sea adecuada. La proximidad de

las plantas de los proveedores más importantes también apoya los métodos de producción esbelta.

Otras instalaciones. La ubicación de otras plantas o centros de distribución de la misma compañía puede influir en el asentamiento de la nueva instalación dentro de la red. Los aspectos de mezcla de productos y capacidad tienen una interconexión muy estrecha con la decisión de la ubicación en este contexto.

Zonas de libre comercio. Una zona de comercio exterior o una **zona de libre comercio** es un lugar cerrado (bajo la supervisión del departamento de aduanas) en la que es posible comprar bienes extranjeros sin que estén sujetos a los requerimientos aduanales normales. En la actualidad, en Estados Unidos hay alrededor de 260 zonas de libre comercio. Estos lugares especializados también existen en otros países. En las zonas de libre comercio, los fabricantes pueden usar componentes importados en el producto final o demorar el pago de los aranceles hasta que el producto se envíe al país anfitrión.

Zona de libre comercio

Global

Riesgo político. Los escenarios geopolíticos que cambian con rapidez en muchos países presentan oportunidades emocionantes y desafiantes, pero la prolongada etapa de transformación por la que atraviesan muchos países dificulta en gran medida la decisión de ubicarse en esas áreas. Los riesgos políticos tanto en el país de ubicación como en el anfitrión influyen en las decisiones de ubicación.

Barreras gubernamentales. Hoy en día, las barreras para entrar y ubicarse en muchos países se han eliminado gracias a la legislación. Sin embargo, al planear la ubicación es preciso tomar en cuenta muchas barreras no legislativas y culturales.

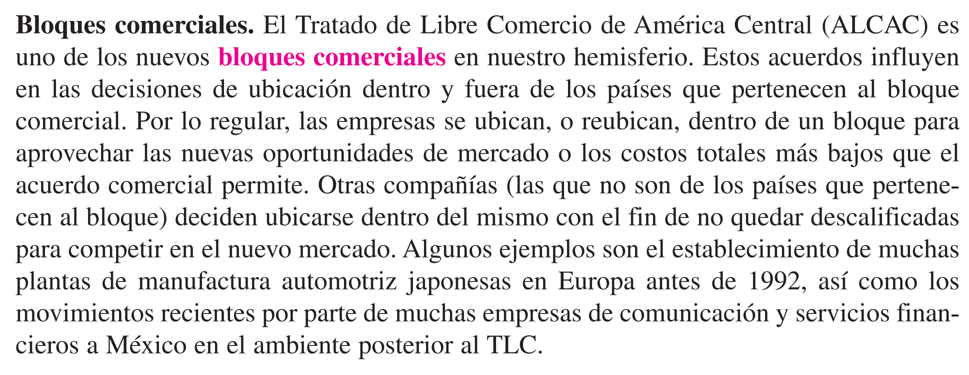
La conveniencia impulsa las decisiones en Honda

Cuando Honda anunció que construiría su sexta planta de ensamble en Greensburg, Indiana, el *Chicago Tribune* dijo que la decisión se basó en "ubicación, ubicación, ubicación". Indiana la tenía; Illinois y Ohio, no. Honda invirtió 550 millones de dólares para construir la operación que ahora emplea a 1 000 trabajadores en esta "planta flexible" capaz de producir múltiples modelos. En mayo de 2009 la planta produjo su primer Civic GX, el único vehículo movido por gas natural construido por un gran fabricante de autos en Estados Unidos.

Mientras que Indiana prometió a Honda 141.5 millones de dólares en incentivos para ubicarse en Greensburg, Larry Jutte, ejecutivo de la compañía, rechazó la idea de que fueran un factor. "No fue una cuestión de los incentivos ofrecidos; nunca fue una consideración. Fue una cuestión de logística, factor humano, infraestructura y ubicación." Sostuvo que la decisión se basó en la proximidad de los proveedores de piezas, sobre todo de motores de cuatro cilindros para las operaciones de Honda en Anna, Ohio. El sitio de Greensburg de 1 700 acres está cerca de la carretera I-74 y más o menos a 50 millas al suroeste de Indianápolis, y se construirá con la posibilidad de expansión. Hasta el momento, Honda ha invertido un total de 9 mil millones de dólares en instalaciones en América del Norte.

Un dato interesante es que esta planta quedará cerca de Indy 500. "Durante más de 50 años, las carreras han sido una parte fundamental de la cultura de Honda, y las usamos para capacitar a nuestros ingenieros", explicó Koichi Kondo, presidente y director general de American Honda. "El mes pasado, el auto ganador en Indy 500 tenía un motor Honda. De hecho, los 33 autos en la carrera tenían motores Honda." De manera sorprendente, desde que Honda ha sido el único proveedor de motores para las carreras Indy 500 de 2006 a 2009, no ha habido ninguna falla en los motores. Kondo dijo que Honda e Indiana están comenzando una larga carrera juntos.

Fuentes: "Convenience Drives Indiana to Victory", *Chicago Tribune-Business*, 29 de junio de 2006; http://blogs.edmunds.com/; http://corporate.honda.com/press; Motor Sport Forum, 9 de mayo de 2009.



Bloques comerciales

Bloques comerciales. El Tratado de Libre Comercio de América Central (ALCAC) es uno de los nuevos **bloques comerciales** en nuestro hemisferio. Estos acuerdos influyen en las decisiones de ubicación dentro y fuera de los países que pertenecen al bloque comercial. Por lo regular, las empresas se ubican, o reubican, dentro de un bloque para aprovechar las nuevas oportunidades de mercado o los costos totales más bajos que el acuerdo comercial permite. Otras compañías (las que no son de los países que pertenecen al bloque) deciden ubicarse dentro del mismo con el fin de no quedar descalificadas para competir en el nuevo mercado. Algunos ejemplos son el establecimiento de muchas plantas de manufactura automotriz japonesas en Europa antes de 1992, así como los movimientos recientes por parte de muchas empresas de comunicación y servicios financieros a México en el ambiente posterior al TLC.

Regulaciones ambientales. Las regulaciones ambientales que tienen un impacto sobre determinada industria en una ubicación se deben incluir en estas decisiones. Además de las implicaciones mensurables en los costos, estas regulaciones influyen en la relación con la comunidad local.

Comunidad anfitriona. El interés de la comunidad anfitriona en tener la planta es una parte fundamental en el proceso de evaluación. Las instalaciones educativas locales y la calidad de vida también son importantes.

Global

Ventaja competitiva. Una decisión importante para las compañías multinacionales es el país en el que se va a ubicar la sede de cada negocio. Porter sugiere que una empresa puede tener varias sedes por cada negocio o segmento. La ventaja competitiva se crea en una sede en la que se establece una estrategia, se crean el producto central y la tecnología del proceso, y tiene lugar gran parte de la producción. Así, una empresa debe cambiar su sede a un país que estimule la innovación y proporcione el mejor ambiente para la competitividad global.[1] Este concepto también se aplica al caso de las compañías nacionales que buscan obtener una ventaja competitiva sostenible. Esto explica en parte el surgimiento de los estados del sureste de Estados Unidos como destino corporativo preferido en el país (es decir, el clima de negocios fomenta la innovación y la producción con bajo costo).

Métodos de ubicación de plantas

Como se verá, hay muchas técnicas para identificar los sitios potenciales para fábricas y otro tipo de instalaciones. El proceso para elegir un área en particular puede variar en gran medida según el giro de la empresa y las presiones competitivas que deben considerarse. Como ya se estudió, a menudo existen muchos criterios que es necesario tomar en cuenta al seleccionar de un grupo de sitios factibles.

En esta sección se muestran tres tipos de técnicas que han demostrado su gran utilidad para muchas empresas. El primero es el *sistema de calificación de factores,* que permite considerar muchos tipos de criterios mediante escalas simples de calificación por puntos. A continuación se considera el *método de transportación* usando programación lineal, una técnica muy poderosa para calcular el costo de usar una red de plantas y almacenes. Después se revisa el *método del centroide*, técnica común en las compañías de comunicación (proveedores de teléfonos celulares) para ubicar sus torres de transmisión. Por último, al final del capítulo se considera la forma en que las empresas de servicios, como McDonald's y State Farm Insurance, usan las técnicas estadísticas para determinar la ubicación de sus instalaciones.

Sistemas de calificación de factores

Sistemas de calificación de factores

Los **sistemas de calificación de factores** son quizá las técnicas de ubicación generales más utilizadas porque ofrecen un mecanismo para combinar diversos factores en un formato fácil de entender.

[1] M. E. Porter, "The Competitive Advantage of Nation", *Harvard Business Review*, marzo-abril de 1990.

Por ejemplo, una refinería asignó el siguiente rango de valores porcentuales a los principales factores que afectan un grupo de sitios posibles:

	Rango
Combustibles en la región	0 a 330
Disponibilidad y confiabilidad de la energía	0 a 200
Clima laboral	0 a 100
Condiciones de vida	0 a 100
Transportes	0 a 50
Abastecimiento de agua	0 a 10
Clima	0 a 50
Suministro	0 a 60
Políticas fiscales y legislación	0 a 20

Cada sitio se calificó con base en cada factor y se seleccionó un valor porcentual de su rango asignado. Luego se compararon las sumas de los puntos asignados por cada sitio y se eligió el que obtuvo más puntos.

Un problema importante con los esquemas sencillos de calificación por puntos es que no toman en cuenta la amplia variedad de costos posibles en cada factor. Por ejemplo, quizás haya una diferencia de unos cuantos miles de dólares entre la mejor y la peor ubicación en un factor, y varios cientos de dólares entre la mejor y la peor ubicación en otro factor. Es probable que el primer factor tenga la mayor cantidad de puntos pero que no sea de gran ayuda al decidir sobre la ubicación; y tal vez el segundo tenga pocos puntos pero muestre una diferencia real en el valor de las ubicaciones. Para manejar este problema se sugiere la derivación de los puntos posibles para cada factor mediante una escala de ponderación con base en las desviaciones estándar de los costos en lugar de usar solo las cantidades de los costos. De esta manera se consideran los costos relativos.

Método de transporte usando programación lineal

El **método de transporte** es un método especial de programación lineal. (Recuerde que la programación lineal se estudia con detalle en el apéndice A.) Obtiene ese nombre de su aplicación en problemas que comprenden la transportación de productos de varias fuentes a diversos destinos. Los dos objetivos comunes de estos problemas son 1) minimizar el costo de enviar *n* unidades a *m* destinos o 2) maximizar la utilidad de enviar *n* unidades a *m* destinos.

Método de transporte

EJEMPLO 12.1: La empresa U.S. Pharmaceutical

Suponga que U.S. Pharmaceutical Company tiene cuatro fábricas que surten los almacenes de cuatro clientes importantes y su gerencia quiere determinar el programa de envíos con un costo mínimo para su producción mensual relacionada con estos clientes. Los costos de suministro a la fábrica, las demandas de almacenamiento y los costos de envío por caja de estos medicamentos se muestran en la ilustración 12.2.

La matriz de transportación para este ejemplo aparece en la ilustración 12.3, donde la disponibilidad de los suministros en cada fábrica se muestra en la columna de la extrema derecha, y las demandas de almacenamiento, en el renglón inferior. Los costos de envío se muestran en los cuadros pequeños dentro de las celdas. Por ejemplo, mandar una unidad de la fábrica de Indianápolis a la bodega del cliente en

Paso por paso

Tutoriales: Método de transportación de Solver

ILUSTRACIÓN 12.2 Datos sobre el problema de transporte de la empresa U.S. Pharmaceutical.

					Costos de envío por caja (en dólares)			
Fábrica	Suministro	Almacén	Demanda	Desde	Hacia Columbus	Hacia St. Louis	Hacia Denver	Hacia Los Ángeles
Indianápolis	15	Columbus	10	Indianápolis	$25	$35	$36	$60
Phoenix	6	St. Louis	12	Phoenix	55	30	25	25
Nueva York	14	Denver	15	Nueva York	40	50	80	90
Atlanta	11	Los Ángeles	9	Atlanta	30	40	66	75

ILUSTRACIÓN 12.3
Matriz de transportación para el problema de la empresa U.S. Pharmaceutical.

Desde \ Hacia	Columbus	St. Louis	Denver	Los Ángeles	Suministro a la fábrica
Indianápolis	25	35	36	60	15
Phoenix	55	30	25	25	6
Nueva York	40	50	80	90	14
Atlanta	30	40	66	75	11
Requerimientos de destino	10	12	15	9	46 / 46

Columbus cuesta $25. Los flujos reales se mostrarían en las celdas que cruzan los renglones de fábrica y las columnas de almacén.

Solución

Tutorial: Introducción de Solver

Excel: US Pharmaceutical

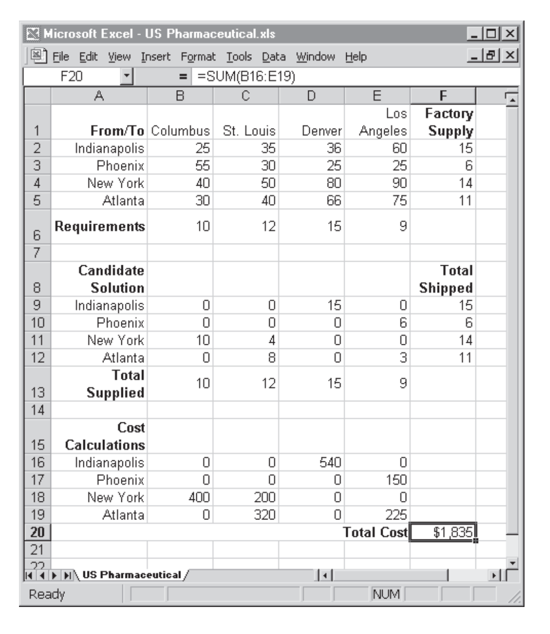
El problema se resuelve con la función Solver de Excel de Microsoft. Si no conoce bien el Solver debe consultar el apéndice A, "Programación lineal con Excel Solver". La ilustración 12.4 muestra cómo configurar el problema en la hoja de cálculo. Las celdas B6 a E6 contienen los requisitos por cada almacén de cliente. Las celdas F2 a F5 contienen la cantidad que se suministra de cada planta. Las celdas B2 a E5 presentan el costo de enviar una unidad por cada combinación de planta y almacén potenciales.

Las celdas para la solución del problema son B9 a E12. En un principio se dejan estas celdas en blanco al crear la hoja de cálculo. Las celdas en la columna F9 a F12 son la suma de cada renglón e indican la cantidad real de los envíos de cada fábrica en la solución posible. De igual modo, las celdas en el renglón B13 a E13 presentan la suma de la cantidad enviada a cada cliente en la solución posible. Estos valores se calculan con la función Suma de Excel.

El costo de la solución posible se calcula en las celdas B16 a E19. Esta cifra se obtiene al multiplicar la cantidad enviada en la solución posible por el costo del envío por unidad en esa ruta en particular. Por ejemplo, al multiplicar B2 por B9 en la celda B16 se obtiene el costo de envío entre Indianápolis y Columbus para la solución posible. El costo total mostrado en la celda F20 es la suma de todos estos costos individuales.

Para solucionar el problema es necesario entrar en la aplicación Solver de Excel. Solver se encuentra al seleccionar Herramientas y luego Solver en el menú de Excel. Aparece una pantalla similar a la que se presenta más abajo. Si Solver no se encuentra en esa ubicación, es probable que no se haya agregado el complemento necesario al instalar Excel en su computadora. Con el disco de instalación de Excel original se agrega Solver con facilidad.

ILUSTRACIÓN 12.4
Pantalla de Excel® que muestra el problema de la empresa U.S. Pharmaceutical.



Microsoft Excel - US Pharmaceutical.xls
File Edit View Insert Format Tools Data Window Help
F20 = =SUM(B16:E19)

	A	B	C	D	E	F
1	From/To	Columbus	St. Louis	Denver	Los Angeles	Factory Supply
2	Indianapolis	25	35	36	60	15
3	Phoenix	55	30	25	25	6
4	New York	40	50	80	90	14
5	Atlanta	30	40	66	75	11
6	Requirements	10	12	15	9	
7						
8	Candidate Solution					Total Shipped
9	Indianapolis	0	0	15	0	15
10	Phoenix	0	0	0	6	6
11	New York	10	4	0	0	14
12	Atlanta	0	8	0	3	11
13	Total Supplied	10	12	15	9	
14						
15	Cost Calculations					
16	Indianapolis	0	0	540	0	
17	Phoenix	0	0	0	150	
18	New York	400	200	0	0	
19	Atlanta	0	320	0	225	
20					Total Cost	$1,835
21						

US Pharmaceutical
Ready NUM

Ahora es necesario establecer los parámetros de Solver. Primero, establezca la celda objetivo. Esta es la celda en la que se calcula el costo total asociado a la solución. En el problema de ejemplo, se trata de la celda F20. Luego es necesario indicar que se minimiza esa celda mediante la selección del botón "Min". La ubicación de la solución se indica con el cuadro de texto "Cambio de celdas". En el ejemplo, estas celdas son de la B9 a la E12.

A continuación es necesario indicar las restricciones para el problema. En el problema del transporte es preciso tener la seguridad de cubrir la demanda del cliente y no exceder la capacidad de las fábricas. Para garantizar el cumplimiento de la demanda, dé clic en "Agregar" y destaque el rango de las celdas en las que se calculó la cantidad total enviada a cada cliente. Este rango es de B13 a E13 en el ejemplo. Luego seleccione "=" para indicar que desea que la cantidad enviada sea igual a la demanda. Por último, en el lado derecho, escriba el rango de celdas en el que se establece la demanda real del cliente en la hoja de cálculo. En el ejemplo, este rango es de B6 a E6.

El segundo grupo de restricciones que garantiza que no se excede la capacidad de la planta de manufactura se captura de modo similar. El rango de celdas que indica la cantidad enviada de cada fábrica es F9 a F12. Estos valores deben ser menores o iguales a (<=) la capacidad de cada fábrica, que se encuentra en las celdas F2 a F5. Para programar Solver es necesario ajustar algunas opciones. Dé clic en el botón "Opciones" y aparecerá la pantalla siguiente:

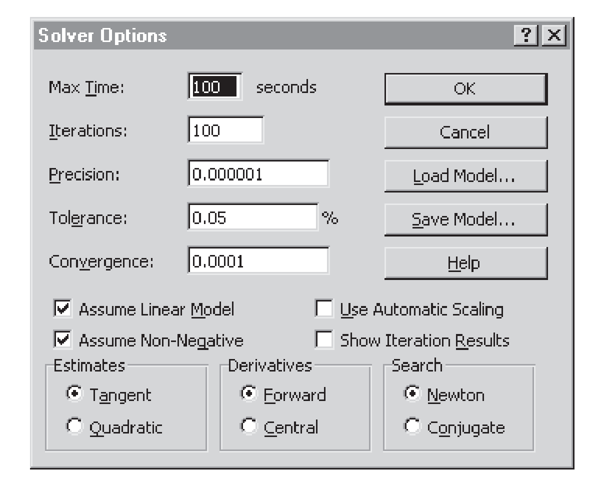
Solver Parameters
Set Target Cell: $F$20
Equal To: Max Min Value of: 0
By Changing Cells:
$B$9:$E$12
Subject to the Constraints:
$B$13:$E$13 = $B$6:$E$6
$F$9:$F$12 <= $F$2:$F$5
Solve Close Guess Options Premium Add Change Delete Reset All Help

Pantalla de Excel® de Microsoft® Excel ©, Microsoft Corporation.

Es necesario ajustar dos opciones para solucionar los problemas de transporte. Primero, es necesario "Adoptar un modelo lineal". Esto indica a Solver que no hay ningún cálculo no lineal en la hoja de cálculo. Esto es importante porque Solver aplica un algoritmo muy eficiente para calcular la solución óptima al problema si existe esta condición. Después, es necesario marcar el cuadro "Asumir no negativo". Con esto se le indica a Solver que los valores en la solución deben ser mayores o iguales a cero. En los problemas de transporte no tiene sentido el envío de cantidades negativas. Dé clic en "Aceptar" para regresar a la ventana principal de Solver y luego en "Resolver" para resolver de verdad el problema. Solver le notificará que encontró una solución. Indique que quiere guardar esa solución. Y, por último, dé clic en "Aceptar" para regresar a la hoja de cálculo principal. La solución debe estar en las celdas B9 a E12.

Tutorial: Introducción de Solver

El método de transporte sirve para solucionar varios tipos de problemas siempre y cuando se aplique de manera innovadora. Por ejemplo, es útil para probar el impacto del costo de distintas ubicaciones posibles en toda la red de producción-distribución. Para hacerlo se agregaría un nuevo renglón con el costo de envío unitario desde una fábrica en una nueva ubicación, por decir, Dallas, al grupo de almacenes del cliente, además de la cantidad total del suministro. Luego se resolvería esta matriz en particular para calcular el costo total mínimo. A continuación se reemplazaría la fábrica localizada en Dallas en el mismo renglón de la matriz con una fábrica en otro lugar, Houston, y se solucionaría el problema de nuevo para obtener el costo total mínimo. Si se supone que las fábricas en Dallas y Houston son idénticas en otros aspectos importantes, se seleccionaría la ubicación resultante en el costo total más bajo para la red.



Hay más información sobre Solver en el apéndice A, "Programación lineal con Excel Solver". ●

MÉTODO DEL CENTROIDE

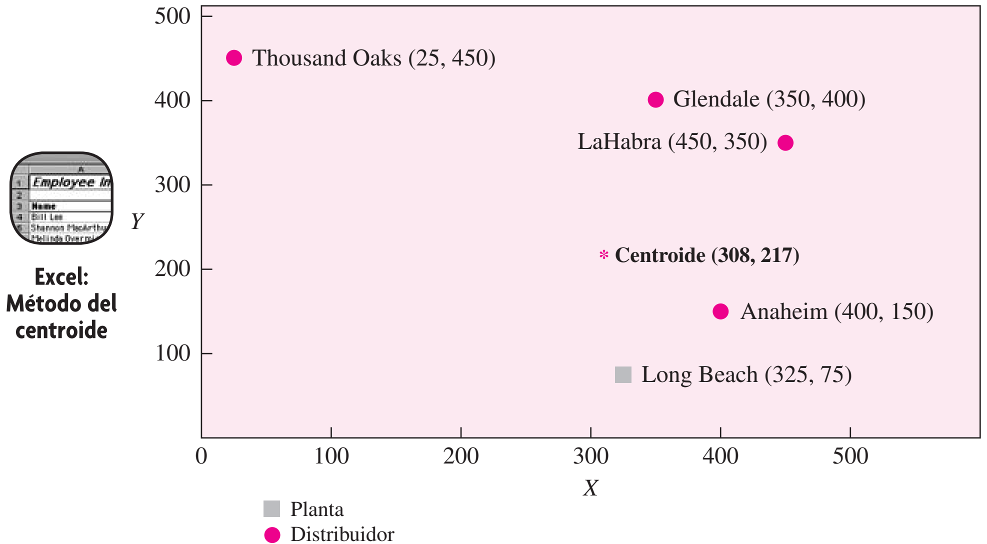
Método del centroide

El **método del centroide** es una técnica para ubicar instalaciones que considera las instalaciones existentes, las distancias entre ellas y los volúmenes de bienes por enviar. A menudo, con esta técnica se ubican almacenes intermedios o de distribución. En su forma más sencilla, este método supone que los costos de transporte de entrada y salida son iguales y no incluye costos de envío especiales por menos que cargas completas.

Otra aplicación importante del método del centroide en la actualidad es la ubicación de torres de comunicación en las áreas urbanas. Algunos ejemplos son las torres de radio, TV y telefonía celular. En esta aplicación, el objetivo es encontrar sitios cercanos a grupos de clientes para asegurar la claridad de las señales de radio.

El método del centroide empieza por colocar las ubicaciones existentes en un sistema de coordenadas. Por lo regular, las coordenadas se basan en las medidas de longitud y latitud debido a la rápida adopción de los sistemas GPS para trazar las ubicaciones en mapas. Con el fin de que

ILUSTRACIÓN 12.5 Diagrama de rejilla para el ejemplo del centroide.



Ubicación	Galones de gasolina mensuales (millones)
Long Beach	1 500
Anaheim	250
LaHabra	450
Glendale	350
Thousand Oaks	450

los ejemplos sean sencillos, se utilizan coordenadas arbitrarias *X*, *Y*. La ilustración 12.5 muestra un ejemplo de distribución en rejilla.

El centroide se encuentra al calcular las coordenadas *X* y *Y* que dan como resultado el costo de transporte mínimo. Se usan las fórmulas

$$C_x = \frac{\Sigma d_{ix} V_i}{\Sigma V_i} \qquad C_y = \frac{\Sigma d_{iy} V_i}{\Sigma V_i} \tag{12.1}$$

donde

C_x = coordenada *X* del centroide
C_y = coordenada *Y* del centroide
d_{ix} = coordenada *X* de la *i*-ésima ubicación
d_{iy} = coordenada *Y* de la *i*-ésima ubicación
V_i = volumen de los bienes trasladados hacia la *i*-ésima ubicación o desde ella

Paso por paso

EJEMPLO 12.2: HiOctane Refining Company

La HiOctane Refining Company necesita ubicar una instalación intermedia entre su refinería en Long Beach y sus principales distribuidores. La ilustración 12.5 muestra el mapa de coordenadas y la cantidad de gasolina enviada a la planta y los distribuidores y desde ellos.

En este ejemplo, para la ubicación en Long Beach (la primera ubicación), $d_{1x} = 325$, $d_{1y} = 75$ y $V_1 =$ 1 500.

Solución

Con la información de la ilustración 12.5 se calculan las coordenadas del centroide:

$$C_x = \frac{(325 \times 1\,500) + (400 \times 250) + (450 \times 450) + (350 \times 350) + (25 \times 450)}{1\,500 + 250 + 450 + 350 + 450}$$

$$= \frac{923\,750}{3\,000} = 307.9$$

$$C_y = \frac{(75 \times 1\,500) + (150 \times 250) + (350 \times 450) + (400 \times 350) + (450 \times 450)}{1\,500 + 250 + 450 + 350 + 450}$$

$$= \frac{650\,000}{3\,000} = 216.7$$

Esto da a la gerencia coordenadas X y Y de más o menos 308 y 217, respectivamente, y proporciona un punto de inicio para buscar un nuevo sitio. Al analizar la ubicación del centroide calculado en el mapa se ve que quizá lo más eficiente en costos sea el envío directo entre la planta de Long Beach y el distribuidor en Anaheim y no a través de una bodega cerca del centroide. Antes de elegir la ubicación es probable que la gerencia calcule de nuevo el centroide con datos que reflejen lo anterior (es decir, se reducen los galones enviados desde Long Beach en la cantidad que Anaheim necesita y se elimina Anaheim de la fórmula). ●

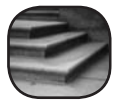
Ubicación de instalaciones de servicio

Servicio

Debido a la variedad de empresas de servicios y el costo relativamente bajo de establecer una instalación de servicio en comparación con una planta de manufactura, las instalaciones de servicio nuevas son mucho más comunes que las fábricas y bodegas nuevas. De hecho, en pocas comunidades el rápido crecimiento de la población no se acompaña de un crecimiento vertiginoso de tiendas al menudeo, restaurantes, servicios municipales e instalaciones de entretenimiento.

Por lo regular, los servicios tienen varios sitios para mantener un contacto cercano con los clientes. La decisión de la ubicación está estrechamente relacionada con la decisión de selección de mercados. Si el mercado meta son los grupos de universitarios, las ubicaciones en las comunidades de retiro (pese a su conveniencia en términos de costos, disponibilidad de recursos, etc.) no son opciones viables. Las necesidades de mercado afectan también el número de sitios por construir, así como sus dimensiones y características. Mientras que las decisiones de ubicación de fábricas a menudo se toman para reducir costos, muchas técnicas de decisión sobre la ubicación de los servicios maximizan el potencial de utilidades de diversos sitios. A continuación se presenta un modelo de regresión múltiple útil para seleccionar sitios adecuados.

EJEMPLO 12.3: Búsqueda de sitios para hoteles



Paso por paso

La selección de sitios adecuados es crucial para el éxito de una cadena hotelera. De las cuatro consideraciones de mercado principales (precio, producto, promoción y ubicación) se ha demostrado que la ubicación y el producto son las más importantes para las empresas con presencia en varios lugares. Como resultado, los propietarios de cadenas hoteleras que eligen sitios adecuados con rapidez tienen una ventaja competitiva distintiva.

La ilustración 12.6 muestra la lista inicial de variables en un estudio con las cuales una cadena de hoteles determina las ubicaciones potenciales de sus hoteles nuevos. Se recopilaron datos sobre 57 sitios. El análisis de datos identificó las variables que se correlacionan con las utilidades operativas en dos años (véase la ilustración 12.7).

Solución

Se elaboró un *modelo de regresión* (véase el capítulo 15). Su forma final fue

Utilidad = 39.05 − 5.41 × Población del estado por hotel (1 000)
+ 5.86 × Precio del hotel
− 3.91 × Raíz cuadrada de la mediana del ingreso del área (1 000)
+ 1.75 × Universitarios a seis kilómetros

El modelo muestra que la utilidad se ve afectada por la penetración en el mercado, influye el precio de manera positiva, en forma negativa los ingresos más altos (los hoteles funcionan mejor en áreas con medianas bajas de ingresos) y las universidades cercanas, de modo positivo.

La cadena hotelera aplicó el modelo en una hoja de cálculo y así inspecciona por rutina las posibles adquisiciones de bienes raíces. El fundador y presidente de la cadena de hoteles aceptó la validez del modelo y ya no se siente obligado a seleccionar en persona los sitios.

Este ejemplo demuestra que se obtiene un modelo específico a partir de los requerimientos de organizaciones de servicio y con él es posible identificar las características más importantes en la selección de sitios. ●

ILUSTRACIÓN 12.6
Variables independientes recopiladas para la primera etapa de elaboración de modelos.

Categoría	Nombre	Descripción
Competitiva	INNRATE	Precio del hotel
	PRICE	Tarifa por habitación para el hotel
	RATE	Tarifa por habitación competitiva promedio
	RMS 1	Habitaciones de hotel a un kilómetro y medio
	RMSTOTAL	Habitaciones de hotel a cinco kilómetros
	ROOMSINN	Habitaciones de hotel
Generadores de demanda	CIVILIAN	Personal civil en la base
	COLLEGE	Inscripciones a las universidades
	HOSP 1	Camas de hospital a un kilómetro y medio
	HOSPTOTL	Camas de hospital a seis kilómetros
	HVYIND	Alto empleo industrial
	LGTIND	Pocos acres industriales
	MALLS	Pies cuadrados de centros comerciales
	MILBLKD	Base militar bloqueada
	MILITARY	Personal militar
	MILTOT	MILITARES + CIVILES
	OFC1	Espacio de oficinas a un kilómetro y medio
	OFCTOTAL	Espacio de oficinas a seis kilómetros
	OFCCBD	Espacio de oficinas en la zona de negocios central
	PASSENGR	Pasajeros en tránsito en el aeropuerto
	RETAIL	Rango de actividad al menudeo
	TOURISTS	Turistas anuales
	TRAFFIC	Conteo de tránsito
	VAN	Camioneta al aeropuerto
Demográfica	EMPLYPCT	Porcentaje de desempleo
	INCOME	Ingreso familiar promedio
	POPULACE	Población residencial
Conciencia del mercado	AGE	Años que lleva abierto el hotel
	NEAREST	Distancia al hotel más cercano
	STATE	Población del estado por hotel
	URBAN	Población urbana por hotel
Física	ACCESS	Accesibilidad
	ARTERY	Arteria de tránsito importante
	DISTCBD	Distancia a la zona de negocios central
	SIGNVIS	Visibilidad del anuncio

ILUSTRACIÓN 12.7
Resumen de las variables correlacionadas con el margen de operaciones.

Variable	Año 1	Año 2
ACCESS	.20	
AGE	.29	.49
COLLEGE		.25
DISTCBD		−.22
EMPLYPCT	−.22	−.22
INCOME		−.23
MILTOT		.22
NEAREST	−.51	
OFCCBD	.30	
POPULACE	.30	.35
PRICE	.38	.58
RATE		.77
STATE	−.32	−.33
SIGNVIS	.25	
TRAFFIC	.32	
URBAN	−.22	−.26

Resumen

En este capítulo se centró la atención a la ubicación de los sitios de manufactura y distribución en la cadena de suministro. Sin duda, el término *logística* abarca mucho más y no solo los aspectos de diseño que se estudiaron en este capítulo, sino también el problema más amplio que representa desplazar los bienes por toda la cadena de suministro.

En el capítulo se cubrieron las técnicas comunes para diseñar la cadena de suministro. La programación lineal, en particular el método de transporte, es una forma útil de estructurar estos problemas de diseño de logística. Los problemas se resuelven con facilidad mediante Solver de Excel; el capítulo se ocupa también de cómo hacerlo. Los cambios drásticos en el ambiente empresarial global dan mayor importancia a la toma de decisiones en relación con la forma de obtener y entregar los productos. Estas decisiones se deben tomar con rapidez y con base en los costos reales involucrados. El modelado de costos con hojas de cálculo, cuando se combina con la optimización, es una herramienta muy útil para analizar estos problemas.

El capítulo también estudia brevemente la ubicación de instalaciones de servicio, como restaurantes y tiendas al menudeo, mediante análisis de regresión. Estos problemas son complejos, y el modelado con hoja de cálculo es, una vez más, una importante herramienta de análisis.

Conceptos clave

Logística 1) En un contexto industrial, el arte y la ciencia de obtener, fabricar y distribuir material y productos en el lugar y cantidades adecuados. 2) En un sentido militar (donde se usa con mayor frecuencia), su significado incluye también el movimiento de personal.

Logística internacional Todas las funciones relacionadas con el movimiento de materiales y bienes terminados en una escala global.

Compañía de tercera parte logística Empresa que maneja todas o parte de las operaciones de entrega de productos de otra empresa.

Cross-docking Estrategia en los almacenes de consolidación conforme a la cual, en lugar de hacer envíos muy grandes, se dividen en envíos menores para su entrega en un área local.

Sistemas de centros y derivaciones Sistemas que combinan la idea de la consolidación y del cross-docking.

Zona de libre comercio Instalación cerrada (bajo la supervisión de los funcionarios aduanales gubernamentales) en la que es posible comprar bienes extranjeros sin que se encuentren sujetos al pago de los aranceles normales.

Bloques comerciales Grupo de países que acceden en un conjunto de convenios especiales para regular el comercio de bienes entre los países miembros. Las empresas se pueden ubicar en lugares que abarca el acuerdo con el fin de aprovechar las nuevas oportunidades de mercado.

Sistema de calificación de factores Estrategia para seleccionar la ubicación de una instalación al combinar un grupo de factores diversos. Se elaboran escalas de puntos por cada criterio. Luego se evalúa cada sitio potencial con base en cada criterio y se combinan los puntos para calcular una calificación del sitio.

Método de transporte Método de programación lineal especial útil para solucionar problemas que comprenden la transportación de productos de diversas fuentes a varios destinos.

Método del centroide Técnica para ubicar instalaciones que considera las instalaciones existentes, las distancias entre ellas y los volúmenes de bienes por enviar.

Revisión de fórmula

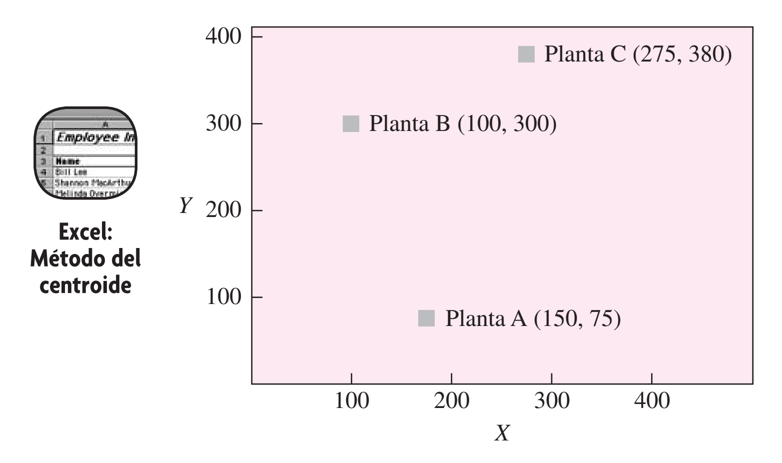
Centroide

$$C_x = \frac{\Sigma d_{ix} V_i}{\Sigma V_i} \qquad C_y = \frac{\Sigma d_{iy} V_i}{\Sigma V_i} \tag{12.1}$$

Problema resuelto

Cool Air, fabricante de acondicionadores de aire automotrices, produce actualmente su línea XB-300 en tres lugares: planta A, planta B y planta C. Hace poco la gerencia decidió armar todas las compresoras, componente importante de su producto, en una instalación por separado, la planta D.

ILUSTRACIÓN 12.8 Matriz de ubicación de plantas.



Planta	Compresoras requeridas por año
A	6 000
B	8 200
C	7 000

Con el método del centroide y la información de la ilustración 12.8 determine la mejor ubicación para la planta D. Suponga una relación lineal entre los volúmenes enviados y los costos de envío (sin cargos adicionales).

Solución

$d_{1x} = 150 \qquad d_{1y} = 75 \qquad V_1 = 6000$

$d_{2x} = 100 \qquad d_{2y} = 300 \qquad V_2 = 8200$

$d_{3x} = 275 \qquad d_{3y} = 380 \qquad V_3 = 7000$

$$C_x = \frac{\Sigma d_{ix} V_i}{\Sigma V_i} = \frac{(150 \times 6000) + (100 \times 8200) + (275 \times 7000)}{6000 + 8200 + 7000} = 172$$

$$C_y = \frac{\Sigma d_{iy} V_i}{\Sigma V_i} = \frac{(75 \times 6000) + (300 \times 8200) + (380 \times 7000)}{21200} = 262.7$$

Planta $D[C_x, C_y] = D[172\ 263]$

Preguntas de repaso y análisis

1. Por lo regular, ¿qué motiva a las empresas a iniciar un proyecto de ubicación o reubicación de una instalación?
2. Mencione cinco razones importantes por las que una nueva compañía manufacturera de componentes electrónicos se debe mudar a su ciudad o pueblo.
3. ¿De qué manera las decisiones de ubicación de instalaciones difieren entre las instalaciones de servicio y las plantas de manufactura?
4. ¿Cuáles son las ventajas y las desventajas de reubicar una empresa de manufactura pequeña o mediana (que fabrica productos maduros) de Estados Unidos a México en el ambiente posterior al TLC?
5. Si usted pudiera reubicar su nueva compañía de desarrollo de software a cualquier parte del mundo, ¿qué lugar elegiría y por qué?

Problemas

1. Consulte la información del problema resuelto. Suponga que la gerencia decide cambiar 2 000 unidades de producción de la planta B a la planta A. ¿Esto cambia la ubicación propuesta de la planta D, la instalación de producción de compresoras? Si es así, ¿dónde debe ubicarse la planta D?
2. Se planea instalar una pequeña fábrica que va a suministrar piezas a tres instalaciones de manufactura muy grandes. Las ubicaciones de las plantas actuales con sus coordenadas y requerimientos de volumen aparecen en la tabla siguiente:

Ubicación de la planta	Coordenadas (*X*, *Y*)	Volumen (piezas por año)
Peoria	300 320	4 000
Decatur	375 475	6 000
Joliet	470 180	3 000

Con el método del centroide determine la mejor ubicación para esta nueva instalación.

3. Bindley Corporation tiene un contrato por un año para suministrar motores para todas las lavadoras producidas por Rinso Ltd. Rinso fabrica las lavadoras en cuatro lugares de Estados Unidos: Nueva York, Fort Worth, San Diego y Mineápolis. Los planes requieren que en cada lugar se produzcan las siguientes cantidades de lavadoras:

Nueva York	50 000
Fort Worth	70 000
San Diego	60 000
Mineápolis	80 000

Bindley tiene tres plantas que pueden producir los motores. Las plantas y sus capacidades de producción son

Boulder	100 000
Macon	100 000
Gary	150 000

Debido a las variaciones en los costos de producción y transporte, la utilidad que Bindley obtiene por cada 1 000 unidades depende del lugar donde se produzcan y a dónde se envíen. La tabla siguiente muestra los cálculos del departamento de contabilidad sobre las utilidades en dólares por cada unidad. (El envío se hará en lotes de 1 000.)

	Enviado a			
Producido en	Nueva York	Fort Worth	San Diego	Mineápolis
Boulder	7	11	8	13
Macon	20	17	12	10
Gary	8	18	13	16

Por el criterio de maximización de las utilidades, Bindley quiere determinar cuántos motores debe producir en cada planta y cuántos enviar de cada planta a cada destino.

a) Elabore una matriz de transporte para este problema.
b) Busque la solución óptima con Excel de Microsoft.

4. Rent'R Cars es una compañía arrendadora de autos con varios locales en la ciudad y ha puesto a prueba una nueva política de "regresar el auto en el lugar más conveniente para usted" con el fin de mejorar el servicio a sus clientes. Pero esto significa que la empresa tiene que trasladar los autos de manera constante por toda la ciudad para mantener los niveles adecuados de disponibilidad de vehículos. A continuación se presentan la oferta y demanda de autos económicos, así como el costo total de mover estos vehículos entre los sitios.

De \ A	*D*	*E*	*F*	*G*	Suministro
A	$9	$8	$6	$5	50
B	9	8	8	0	40
C	5	3	3	10	75
Demanda	50	60	25	30	165 \ 165

a) Busque la solución que minimice costos con Excel de Microsoft.
b) ¿Qué tendría que hacer con los costos para asegurar que A siempre envíe el auto a D como parte de la solución óptima?

5. Un fabricante local de arneses de alambre considera la fusión en un nuevo lugar de sus tres instalaciones de producción localizadas en el mismo condado. Con el método del centroide determine la mejor ubicación para la nueva instalación. Es justo suponer una relación lineal entre la cantidad enviada y los costos de envío.

La matriz del plan se muestra a continuación con coordenadas:

Ubicación	Coordenadas	Unidades por año
Jasper	150 100	6 500
Huntingburg	100 400	7 500
Celestine	300 350	8 000

6. Whirlpool Appliances produce refrigeradores en Los Ángeles y Detroit, y suministra refrigeradores a sus clientes en Houston y Tampa. Los costos de enviar un refrigerador entre los diversos puntos se muestran a continuación. En Los Ángeles se producen hasta 2 900 unidades, y en Detroit, hasta 2 000. Determine cómo utilizar mejor la capacidad de Los Ángeles y Detroit para reducir al mínimo los costos de envío.

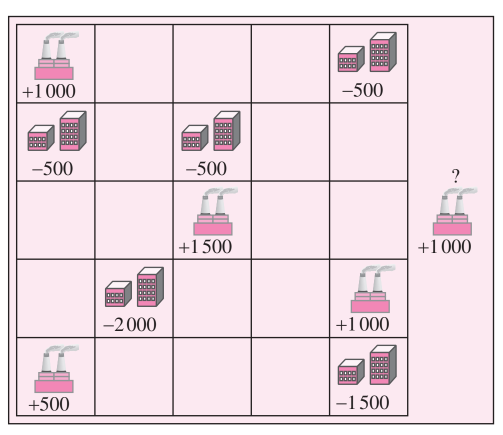
Costos de envío unitarios

De/A	LA	Detroit	Atlanta	Houston	Tampa
LA		$140	$100	$90	$225
Detroit	$145		$111	$110	$119
Atlanta	$105	$115		$113	$78
Houston	$89	$109	$121		
Tampa	$210	$117	$82		

7. Peoples Credit Union tiene dos sitios de procesamiento de cheques. El sitio 1 procesa 10 000 cheques al día, y el sitio 2, 6 000 cheques diarios. La unión de crédito procesa tres tipos de cheques: empresariales, de nómina y personales. El costo de procesamiento por cheque depende del sitio, como se muestra a continuación. Cada día es necesario procesar 5 000 cheques de cada tipo. Determine cómo minimizar el costo de procesamiento diario con Excel.

	Empresarial	Nómina	Personal
Sitio 1	$0.05	$0.04	$0.02
Sitio 2	$0.03	$0.04	$0.05

8. Mover recursos con eficiencia de proveedor a consumidor es un problema arduo que se resuelve con técnicas OR. La figura siguiente muestra un mapa de fábricas que suministran alimento a ciudades. Los números debajo de las fábricas y ciudades indican cuánto alimento (en kg) ofrece y demanda cada una, respectivamente. Cualquier fábrica puede suministrar cualquier cantidad de alimento a una o varias ciudades. Se construye una nueva fábrica que va a suministrar 1 000 kg de alimento, pero aún no se decide su ubicación. La distancia entre celdas adyacentes en el mapa es 1 km. El costo de transportar 1 kg de alimento 1 km es de $10.



Si la nueva fábrica se ubica de manera óptima, ¿cuál es el costo total de transporte para satisfacer la demanda de todas las ciudades? La nueva fábrica no puede ocupar una celda que ya contenga una fábrica o ciudad.

Fuente: Este problema se tomó de John Toczek, *ORMS Today*, febrero de 2009, p. 16.

CASO: APPLICHEM. PROBLEMA DE TRANSPORTE

La gerencia de Applichem enfrenta el difícil problema de distribuir a sus clientes de acuerdo con la capacidad de fabricación de las plantas localizadas en todo el mundo. Desde hace mucho tiempo, reconoce que la eficiencia de las plantas de manufactura difiere en gran medida, pero no ha logrado mejorar las operaciones en las plantas deficientes. Por el momento, la gerencia decidió concentrarse en utilizar mejor la capacidad de sus plantas en vista de las diferencias actuales de costos de fabricación. La gerencia reconoce que este estudio puede dar como resultado una reducción significativa de la producción o quizás el cierre de una o más de las plantas existentes.

Applichem fabrica un producto llamado Release-ease. Los fabricantes de moldes de plástico utilizan este producto químico. Para fabricar sus piezas, inyectando plástico caliente en un molde con la forma de la pieza. Cuando el plástico se enfría lo suficiente, se retira la pieza del molde y se vuelve a usar para otras piezas. Release-ease es un polvo que, aplicado como parte del proceso de manufactura, permite sacar con facilidad la pieza del molde.

Applichem fabrica el producto desde principios de la década de 1950, y la demanda ha sido constante en este tiempo. Un estudio reciente a cargo del equipo de investigación de mercado de Applichem indicó que la demanda de Release-ease será estable durante los próximos cinco años. Aunque Applichem tiene cierta competencia, sobre todo en los mercados europeos, la gerencia piensa que, mientras ofrezcan un producto de buena calidad a un precio competitivo, los clientes serán fieles a Applichem. Release-ease se vende a un precio promedio de $1.00 por libra.

La empresa tiene plantas capaces de fabricar Release-ease en las siguientes ciudades: Gary, Indiana; Windsor, Ontario, Canadá; Frankfurt, Alemania; ciudad de México, México; Caracas, Venezuela, y Osaka, Japón. Aunque las plantas se dedican a cubrir la demanda de las regiones más cercanas se manejan exportaciones e importaciones considerables del producto por varias razones. La tabla siguiente contiene información sobre la cobertura de la demanda durante el último año:

Productos hechos y enviados durante el año anterior (× 100 000 libras)

De/A	México	Canadá	Venezuela	Europa	Estados Unidos	Japón
Ciudad de México	3.0		6.3			7.9
Windsor, Ontario		2.6				
Caracas			4.1			
Frankfurt			5.6	20.0	12.4	
Gary					14.0	
Osaka						4.0

Las diferencias en las tecnologías de las plantas y en los costos locales de la materia prima y la mano de obra provocaron diferencias importantes en el costo de producir Release-ease en cada lugar. Estos costos pueden variar en gran medida debido al tipo de cambio y a los cambios en las leyes laborales en algunos países. Esto sucede sobre todo en México y Venezuela. La capacidad de cada planta difiere también en cada lugar, y por el momento a la gerencia no le interesa aumentar la capacidad. La tabla siguiente muestra los detalles sobre los costos de producción y la capacidad de cada planta:

Costos y capacidad de producción de las plantas

Planta	Costo de producción (× 1 000 libras)	Capacidad de las plantas (× 100 000 libras)
Ciudad de México	95.01	22.0
Windsor, Ontario	97.35	3.7
Caracas	116.34	4.5
Frankfurt	76.69	47.0
Gary	102.93	18.5
Osaka	153.80	5.0

Al considerar cómo aprovechar mejor la capacidad de sus plantas, la gerencia de Applichem necesita tomar en cuenta el costo de envío del producto de una región a otra. En la actualidad, Applichem envía su producto alrededor del mundo, pero resulta muy costoso. Los costos involucrados no solo son de transporte, sino también de aranceles que impone la aduana en algunos países. Sin embargo, Applichem está comprometida a cubrir la demanda y, en ocasiones, lo hace a pesar de no obtener utilidades en todos los pedidos.

La tabla siguiente muestra con detalle la demanda en cada país, el costo de transportar el producto de cada planta a cada país y los aranceles actuales impuestos por cada país. (Estos porcentajes no reflejan los aranceles actuales.) Los aranceles de importación se calculan de acuerdo con la producción aproximada más el costo de transportación del producto a cada país. (Por ejemplo, si el costo de producción y envío de 1 000 libras de Release-ease enviadas a Venezuela es de 100 dólares, el arancel sería de $100 × 0.5 = $50.)

Costo de transporte (× 100 000 libras), aranceles y demanda de Release-ease

Planta/País	México	Canadá	Venezuela	Europa	Estados Unidos	Japón
Ciudad de México	0	11.40	7.0	11.00	11.00	14.00
Windsor, Ontario	11.00	0	9.00	11.50	6.00	13.00
Caracas	7.00	10.00	0	13.00	10.40	14.30
Frankfurt	10.00	11.50	12.50	0	11.20	13.30
Gary	10.00	6.00	11.00	10.00	0	12.50
Osaka	14.00	13.00	12.50	14.20	13.00	0
Demanda total (× 100 000 libras)	3.0	2.60	16.0	20.0	26.4	11.9
Impuesto	0.0%	0.0%	50.0%	9.5%	4.5%	6.0%

Preguntas

Con toda esta información, elabore una hoja de cálculo (Applichem es un inicio) y responda las siguientes preguntas para la gerencia:

Excel: Applichem

1. Evalúe el costo relacionado con la forma en que actualmente se utiliza la capacidad de las plantas de Applichem.
2. Determine el uso óptimo de la capacidad de las plantas de Applichem con Solver en Excel.
3. ¿Qué recomendaría hacer a la gerencia de Applichem? ¿Por qué?

Fuente: Este caso se basa a grandes rasgos en datos de "Applichem(A)", Harvard Business School, 9-685-051.

Cuestionario

1. Arte y ciencia de obtener, fabricar y distribuir materiales y productos en el lugar y cantidades apropiadas.
2. Empresa contratada para manejar funciones de logística.
3. El modo de transporte más flexible respecto de costo, volumen y rapidez de entregas.
4. Cuando grandes embarques se descomponen directamente en embarques más pequeños para entrega local.
5. Clasificar artículos es el principal objetivo de este tipo de almacén.
6. Lugares donde los artículos extranjeros entran en Estados Unidos sin que sean objeto de requisitos normales de aduanas.
7. Criterio principal de costo cuando se analiza una red de logística mediante un modelo de transporte.
8. Función de Microsoft Excel para resolver el modelo de transporte.
9. Para que el modelo de transporte sea capaz de hallar una solución factible, esto debe siempre ser mayor o igual a la demanda.
10. El "cambio de celdas" en un modelo de transporte representa esto.
11. Método que localiza instalaciones en relación con una matriz *X*, *Y*.
12. Técnica útil para seleccionar posibles ubicaciones para servicios.

1. Logística 2. Compañía de tercera parte logística 3. Carretera 4. Cross-docking 5. Centros 6. Zona de libre comercio 7. Costo de envíos 8. Solver (programa) 9. Capacidad total 10. Asignación de demanda a una planta o almacén 11. Método del centroide 12. Análisis de regresión

Bibliografía seleccionada

Ballou, R. H., *Business Logistics Management,* 4a. ed., Upper Saddle River, Nueva Jersey, Prentice Hall, 1998.

Drezner, Z. y H. Hamacher, *Facility Location: Applications and Theory*, Berlín, Springer-Verlag, 2002.

Klamroth, K., *Single Facility Location Problems with Barriers*, Berlín, Springer-Verlag, 2002.

Capítulo 13

CADENAS DE SUMINISTRO ESBELTAS Y SUSTENTABLES

Verde es el nuevo negro[1]

Una encuesta afirma que los fabricantes conscientes del ambiente son el mejor riesgo para los inversionistas

A muchos fabricantes aún les costará mucho trabajo abordar los riesgos y oportunidades que plantea la presión hacia procesos de producción menos perjudiciales para el ambiente, de acuerdo con un estudio nuevo de RiskMetrics Group, proveedor de servicios de administración de riesgos. Dichos riesgos abarcan costos más elevados de energía debido a criterios más estrictos de emisiones de gases invernadero (GI), y entre las oportunidades se encuentra la creciente demanda global de productos con mayor eficiencia de energía.

Global

Después de leer este capítulo, usted:

1. Describirá cómo los conceptos *verde* y *esbelto* se complementan entre sí.
2. Explicará cómo funciona el sistema de tiro de producción.
3. Entenderá los conceptos del sistema de producción de Toyota.
4. Resumirá los atributos importantes de una cadena de suministro esbelta.
5. Analizará un proceso de cadena de suministro mediante el mapa de flujo de valor.
6. Conocerá los principios de diseño de una cadena de suministro.

El informe clasifica a grandes fabricantes y otras empresas según su eficacia en áreas como reducción de emisiones de GI, introducción de proyectos eficientes en energía, expansión de adquisiciones de energía renovable e integración de factores climáticos en los diseños de productos. Sin embargo, quizá como reflejo del escepticismo de mucha gente respecto del papel exacto, si acaso le corresponde alguno, que desempeña el sector manufacturero en el calentamiento global, muchas empresas en gran medida ignoran el cambio climático, en particular en los ámbitos de juntas directivas y presidencias.

[1] Adaptado de D. Blanchard, *Green Is the New Black*, 1 de marzo de 2009, IndustryWeek.com

Los diez principales fabricantes ecológicos

1. IBM Corp.
2. Dell Inc.
3. Intel
4. Johnson & Johnson
5. Nike
6. Applied Materials
7. Coca-Cola
8. Sun Microsystems
9. Hewlett-Packard
10. Molson Coors

Fuente: RiskMetrics Group.

De acuerdo con el informe, patrocinado por la coalición Ceres Investor, solo 17% de las compañías que respondieron afirma que sus consejos directivos reciben actualizaciones específicas del clima que les envía la dirección; 11% de los presidentes de compañías asumieron papeles de liderazgo en iniciativas del cambio climático. El estudio indica que ninguna empresa ha vinculado alguna compensación ejecutiva directamente a la operación relacionada con el clima.

Además muestra que las estrategias ecológicas que ahorran energía y luchan contra el calentamiento global tienen buena acogida por parte del consumidor y apoyo político. Las compañías que toman la iniciativa ganan más participación de mercado, crean confianza en inversionistas y se protegen contra una futura escasez de energía y regulaciones por cambio climático. Simplemente es buen negocio emplear estas prácticas de gobierno hoy en día.

Los fabricantes ecológicos de más alto rango del estudio tienden a ser de alta tecnología, con IBM a la cabeza, seguida por Dell, Intel, Johnson & Johnson y Nike (vea el recuadro "Los diez principales fabricantes ecológicos"). Las empresas de alta tecnología fueron notables por sus innovaciones en productos y servicios cuando se trata de hacer más eficientes en el consumo de energía a todas sus operaciones, centros de datos y líneas de productos. Los programas de conservación de energía de IBM, por ejemplo, ayudaron a ahorrar casi 20 millones de dólares el año pasado.

Cadena de suministro

Entre otras sugerencias, el informe recomienda que las compañías eleven su conciencia al incluir emisiones de gas invernadero de sus cadenas de suministro (emisiones causadas por la extracción, producción, transporte y empaque de materias primas) en inventarios de emisiones, así como al establecer normas de emisiones para sus proveedores.

Producción esbelta

Producción esbelta

El método de administración de la producción más importante de los últimos 50 años es la **producción esbelta**. En el contexto de las cadenas de suministro, la producción esbelta se refiere al énfasis en eliminar la mayor cantidad posible de desperdicios. Los movimientos innecesarios, pasos de producción que no hacen falta y el exceso de inventarios en la cadena son objetivos para mejorar en el proceso de *adelgazamiento*. Los asesores de la industria acuñaron la frase *cadena de valor* para designar un proceso que identifica cada paso de la cadena de suministro que lleva productos o servicios a los clientes, destaca los que crean valor y suprime los que no lo crean. La producción esbelta puede ser una de las mejores herramientas para aplicar estrategias ecológicas en procesos de manufactura y servicio.

Cadena de suministro

Global

La base del pensamiento "esbelto" llegó de conceptos de producción de justo a tiempo (JIT) del que Toyota de Japón fue pionera. Aunque JIT ganó prominencia mundial en la década de 1970, parte de su filosofía proviene desde principios del siglo XX en Estados Unidos. Henry Ford aplicó conceptos de producción JIT cuando modernizó sus líneas móviles de montaje de automóviles. Por ejemplo, para eliminar desperdicios, usó el fondo de los cajones de embalaje de los asientos como piso de los autos. Aunque se usaron en Japón elementos de producción JIT ya desde la década de 1930, se perfeccionó hasta la década de 1970, cuando Tai-ichi Ohno, de Toyota Motors, aplicó dicha producción JIT y llevó los autos de Toyota a la vanguardia en tiempos de entrega y calidad.

Valor al cliente

Desperdicio

El **valor al cliente**, en el contexto de la producción esbelta, se define como algo por lo cual el cliente está dispuesto a pagar. Las actividades que agregan valor transforman materiales e información en algo que el cliente desea. Las actividades que no agregan valor consumen recursos y no contribuyen directamente al resultado final deseado por el cliente. El **desperdicio**, por tanto, se define como cualquier cosa que no agrega valor desde el punto de vista del cliente. Ejemplos de desperdicio en procesos son los productos defectuosos, exceso de producción, inventarios, movimientos excesivos, pasos de procesamiento, transporte y espera.

Los conceptos de adelgazamiento también se aplican a las industrias de servicio. Considere el ejemplo de no manufactura de un vuelo a las Bahamas.[2] La parte que agrega valor de ese proceso es el vuelo mismo; las partes que no dan valor a ese proceso son ir en auto al aeropuerto,

[2] Adaptado de B. Tompkins, *Lean Thinking for the Supply Chain*, de www.tompkinsinc.com

estacionarse, caminar a la terminal, registrarse, esperar en una fila para registrarse, caminar a revisión de seguridad, etc. Muchas veces, el tiempo que no agrega valor excede con mucho el tiempo de valor agregado en este tipo de proceso. ¿En dónde deben concentrarse los esfuerzos para mejorar, en pasos que no tienen valor agregado o en hacer que el avión vuele más rápido?

Entender la diferencia entre valor y desperdicio, y procesos de valor agregado y no agregado, es crítico para entender la producción esbelta. A veces no es fácil discernir la diferencia cuando se ve toda la cadena de suministro. La mejor forma es ver los componentes individuales y aplicar un pensamiento de adelgazamiento a cada uno. A continuación se determina cómo vincular los procesos para reducir el desperdicio.

Este capítulo empieza por revisar la evolución de conceptos de eficiencia de Japón y Toyota. Después se alza la vista para abarcar una cadena de suministro completa. El resto del capítulo se dedica al trazado de una cadena de valor, herramienta útil para eliminar desperdicios y mejorar la eficiencia de una cadena de suministro.

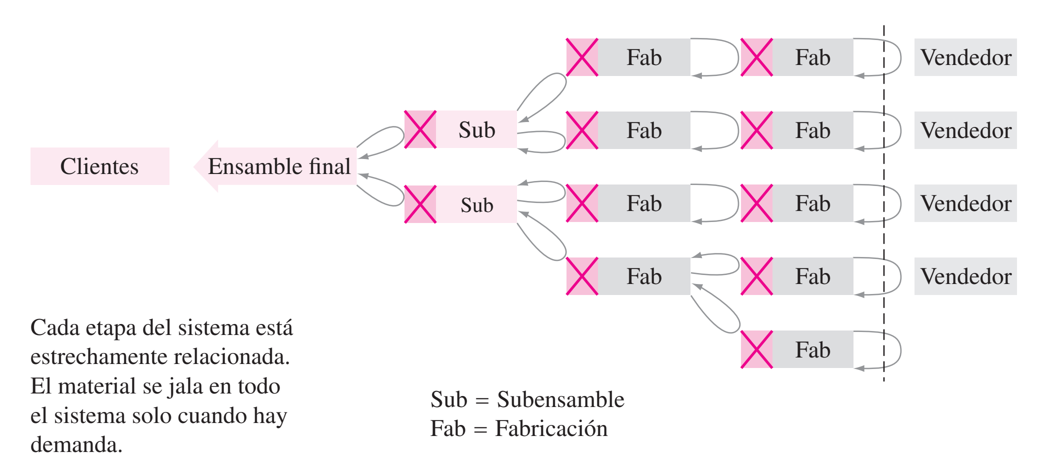
Lógica esbelta

La producción esbelta es un conjunto integrado de actividades diseñado para lograr la producción mediante inventarios mínimos de materia prima, trabajo en proceso y bienes terminados. Las piezas llegan a la siguiente estación de trabajo "justo a tiempo", se terminan y se mueven por todo el proceso con rapidez. La producción esbelta se basa también en la lógica de que no se produce nada hasta que se necesite. La ilustración 13.1 muestra el proceso. La necesidad de producción se crea con base en la demanda real del producto. En teoría, cuando un artículo se vende, el mercado demanda ("jala") un reemplazo de la última posición en el sistema; el ensamblado final, en este caso. Esto da lugar a una orden en la línea de producción de la fábrica, donde un obrero demanda otra unidad de una estación hacia arriba en el flujo para reemplazar la unidad tomada. Esta estación hacia arriba demanda a su vez de la siguiente estación más arriba y así sucesivamente, hasta la liberación de la materia prima. Para que este proceso funcione sin problemas, la producción esbelta requiere de altos niveles de calidad en cada etapa del proceso, relaciones sólidas con los proveedores y una demanda predecible del producto final.

Sistema de producción de Toyota

En esta sección se analiza la filosofía y elementos de la producción esbelta creada en Japón e integrada en el sistema de producción de Toyota: la evaluación comparativa para la manufactura esbelta. El sistema de producción de Toyota se creó para mejorar la calidad y la productividad,

ILUSTRACIÓN 13.1 Sistema de demanda ("jalar") en la producción esbelta.



y se basa en dos filosofías centrales para la cultura japonesa: la eliminación del desperdicio y el respeto por la gente.[3]

Eliminación de desperdicio

Global

El desperdicio, según lo define el ex presidente de Toyota, Fujio Cho, es "cualquier cosa que no sea la cantidad mínima de equipo, materiales, piezas y obreros (horas de trabajo) absolutamente esencial para la producción". Una definición amplificada de la producción esbelta de Fujio Cho identifica siete tipos principales de desperdicio para eliminar de la cadena de suministro: 1) de sobreproducción, 2) de tiempo de espera, 3) de transporte, 4) de inventario, 5) de procesamiento, 6) de movimiento y 7) de defectos en los productos.[4]

Respeto por la gente

Global

El respeto por la gente es fundamental en el sistema de producción de Toyota. Por tradición, la compañía ha buscado asegurar un empleo de por vida para los puestos permanentes, así como mantener nóminas niveladas aunque las condiciones del negocio se deterioren. Los trabajadores permanentes (casi una tercera parte de la fuerza laboral total de Japón) tienen seguridad laboral y suelen ser más flexibles, quedarse en la compañía y hacer todo lo posible para ayudarla a lograr sus metas (las recesiones globales provocaron que muchas empresas de ese país abandonaran este ideal).

Los sindicatos en Toyota y en todas las empresas de Japón fomentan una relación de cooperación con la gerencia. Todos los empleados reciben dos bonos al año en tiempos de bonanza. Los empleados saben que, si la compañía tiene un buen desempeño, recibirán un bono. Esto motiva a los trabajadores a mejorar la productividad. Los gerentes ven a sus empleados como activos y no como máquinas humanas. La automatización y la robótica se utilizan en forma generalizada para realizar los trabajos aburridos o repetitivos, de modo que los empleados tienen la libertad de dedicarse a las actividades más importantes de mejora.

Equipo de diseño de Toyota en sus instalaciones de investigación y diseño Calty en California. Desde el concepto hasta los vehículos de competencia se considera a cada miembro del equipo tan importante como los vehículos que diseñan. Calty da soluciones de diseño para el desarrollo de producto de Toyota, Lexus y Scion.

Toyota depende en gran medida de las redes de subcontratistas. De hecho, más de 90% de todas las compañías japonesas forma parte de la red de distribuidores de pequeñas empresas. Algunos proveedores son especialistas en un campo limitado y casi siempre atienden a varios clientes. Las empresas establecen convenios de largo plazo con sus proveedores y clientes. Los proveedores se consideran parte de la familia de sus clientes.

Un estudio realizado por Christer Karlsson, de la Stockholm School of Economics, señala que las ideas de adelgazamiento encontradas aquí no se usan de manera universal en todas las empresas de manufactura en Japón. En cambio, se aplican de acuerdo con la situación y donde es apropiado. Sin embargo, las ideas fundamentales de la eliminación del desperdicio y el respeto por los trabajadores son aún las bases de la productividad excepcional de la mayor parte de las empresas manufactureras japonesas.[5]

Cadenas de suministro esbeltas

El acento del sistema de producción de Toyota está en la eliminación del desperdicio y en el respeto por la gente. Las metas se alinean bien con las metas de sustentabilidad de utilidades,

[3] K. A. Wantuck, *The Japanese Approach to Productivity*, Southfield, Michigan, Bendix Corporation, 1983.

[4] K. Suzaki, *The New Manufacturing Challenge: Techniques for Continuous Improvement*, Nueva York, Free Press, 1987, pp. 7-25.

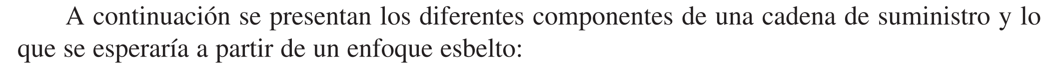
[5] C. Karlsson, *Japanese Production Management in Sunrise or Sunset*, Estocolmo, Suecia, Stockholm School of Economics, EFI/The Economic Research Institute, 1999.

planeta y personas que se estudian en los capítulos 1, 2 y 11 de este libro. Conforme los conceptos evolucionaron y se aplicaron a la cadena de suministro, se agregó la meta de maximizar el valor al cliente. El valor al cliente, cuando se considera en el contexto de toda la cadena de suministro, debe centrarse en la perspectiva del cliente final, con la meta final de maximizar lo que el cliente está dispuesto a pagar por los bienes o servicios de una empresa. La **cadena de valor** consiste en actividades que agregan valor y que no lo agregan, requeridas para diseñar, ordenar y ofrecer un producto o servicio desde el concepto hasta el lanzamiento, desde la orden hasta la entrega y desde las materias primas hasta los clientes. La ilustración 13.2 es un mapa que describe el tránsito de un artículo por una cadena de suministro. Esta panorámica general del sistema es una expansión importante del ámbito de aplicación de los conceptos de eficiencia iniciados por Toyota. Cuando se aplica a cadenas de suministro, la **reducción de desperdicio** se relaciona con la optimización de las actividades que agregan valor y la eliminación de actividades que no agregan valor que forman parte de la cadena de valor.

Cadena de suministro

Cadena de valor

Reducción de desperdicio



A continuación se presentan los diferentes componentes de una cadena de suministro y lo que se esperaría a partir de un enfoque esbelto:

Proveedores esbeltos. Los proveedores esbeltos pueden responder a los cambios. Sus precios suelen ser más bajos en virtud de las eficiencias de sus procesos esbeltos, y la calidad que ofrecen mejora al punto que no es necesaria la siguiente inspección en el eslabón correspondiente. Los proveedores esbeltos entregan a tiempo y su cultura es de mejora continua. Para procurar proveedores esbeltos, las organizaciones deben incluirlos en sus planes de cadena de valor. Esto los ayudará a corregir problemas y compartir ahorros.

Adquisición esbelta. Una clave para la adquisición esbelta es la automatización. La adquisición electrónica se relaciona con transacciones, compras, cotizaciones y subastas automáticas mediante aplicaciones basadas en internet, y con el software que elimina la interacción humana y se integra a los informes financieros de la empresa. La clave para una adquisición esbelta es la visibilidad. Los proveedores deben estar en aptitud de "ver" las operaciones de los clientes y estos deben estar en posibilidades de "ver" las operaciones de sus proveedores. Es necesario optimizar la superposición de estos procesos para maximizar el valor desde la perspectiva del cliente final.

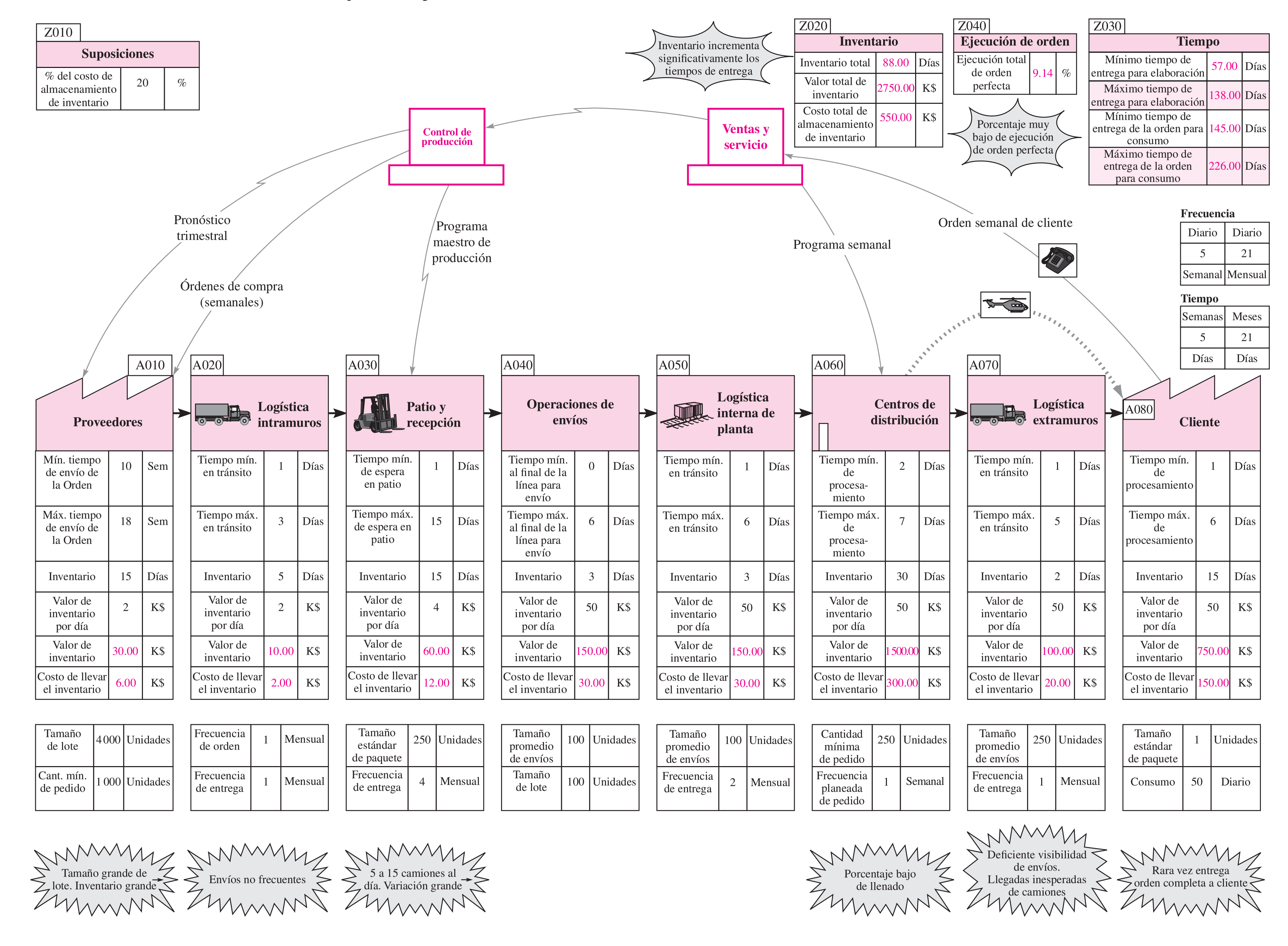
Manufactura esbelta. Los sistemas de manufactura eficiente producen lo que los clientes desean, en la cantidad que desean, cuando lo desean y con mínimo de recursos. La aplicación de conceptos eficientes en la manufactura por lo general presenta las mejores oportunidades para la reducción de costos y mejora de la calidad.

Almacenamiento esbelto. Se relaciona con la eliminación de pasos que no agregan valor, así como con el desperdicio en procesos de almacenamiento de productos. Las funciones comunes incluyen lo siguiente: recepción de material, recolección/almacenamiento, reabastecimiento de inventario, recolección de inventario, empaque para envío y envío. Hay desperdicio en numerosos procesos de almacenamiento, como defectos de envío que pueden dar lugar a devoluciones; exceso de producción o de envíos de productos; exceso de inventario, que requiere espacio adicional y reduce la eficiencia de almacenamiento; movimiento y manejo excesivos; espera de partes, y sistemas inadecuados de información.

La logística postal en Australia distribuye la marca Speedo de trajes de baño. Tres niveles de almacenamiento se conectan por un transportador en espiral, unido a un sistema transportador horizontal "inteligente" que interconecta zonas de selección en cada uno de los tres niveles y las lleva a un área de seis carriles para empaque y distribución.

Logística esbelta. Los conceptos de logística esbelta se aplican a las funciones asociadas al movimiento de material por el sistema. Algunas áreas fundamentales son la selección y agrupamiento de órdenes de modo optimizado; cargas de camiones con paradas múltiples combinadas; ruta optimizada; transferencia de carga en tránsito; procesos de transporte de importación/exportación

ILUSTRACIÓN 13.2 Estado actual del flujo de cumplimiento de ACME: SKU 918.



y reducción al mínimo de viajes de regreso. Al igual que con las demás áreas es necesario optimizar estas funciones de logística para eliminar actividades que no agreguen valor y mejorar las que sí agreguen valor.

Clientes esbeltos. Los clientes esbeltos tienen una gran comprensión de las necesidades de sus negocios y especifican necesidades sensatas y coherentes; consideran valiosa la rapidez y flexibilidad, y esperan altos niveles de eficiencia en entregas; se interesan en establecer relaciones eficientes con sus proveedores. Los clientes esbeltos esperan valor de los productos que compran y dan valor a sus propios clientes.

El abastecimiento de pedidos dirigido por voz permite a los trabajadores una operación de manos libres para recoger artículos del inventario de manera segura, rápida y precisa. También puede emplear en varios idiomas.

Básicamente, los beneficios de una cadena de suministro esbelta están en la mejor respuesta al cliente. Cuando cambian las condiciones de un negocio, la cadena de suministro se adapta a necesidades dinámicas. Lo ideal es una cultura de rápido cambio con tendencia a cambiar cuando sea necesario. Un inventario reducido, inherente en una cadena de suministro esbelta, reduce la obsolescencia y también el tiempo de tránsito por los procesos que agregan valor. El costo reducido, junto con un mejor servicio al cliente, da a las empresas que usan cadenas de suministro esbeltas una considerable ventaja competitiva en el mercado mundial.

Mapa de flujo de valor

Mapa de flujo de valor

El **mapa de flujo de valor** (VSM, por sus siglas en inglés) es un tipo especial de herramienta de diagramas valiosa para el desarrollo de procesos esbeltos. Con esta técnica se visualizan flujos de productos por diversos pasos de procesamiento. La herramienta también ilustra flujos de información que resultan del proceso, así como información para controlar el flujo por un proceso. El objetivo de esta sección es dar una breve introducción al VSM e ilustrar su uso con un ejemplo.

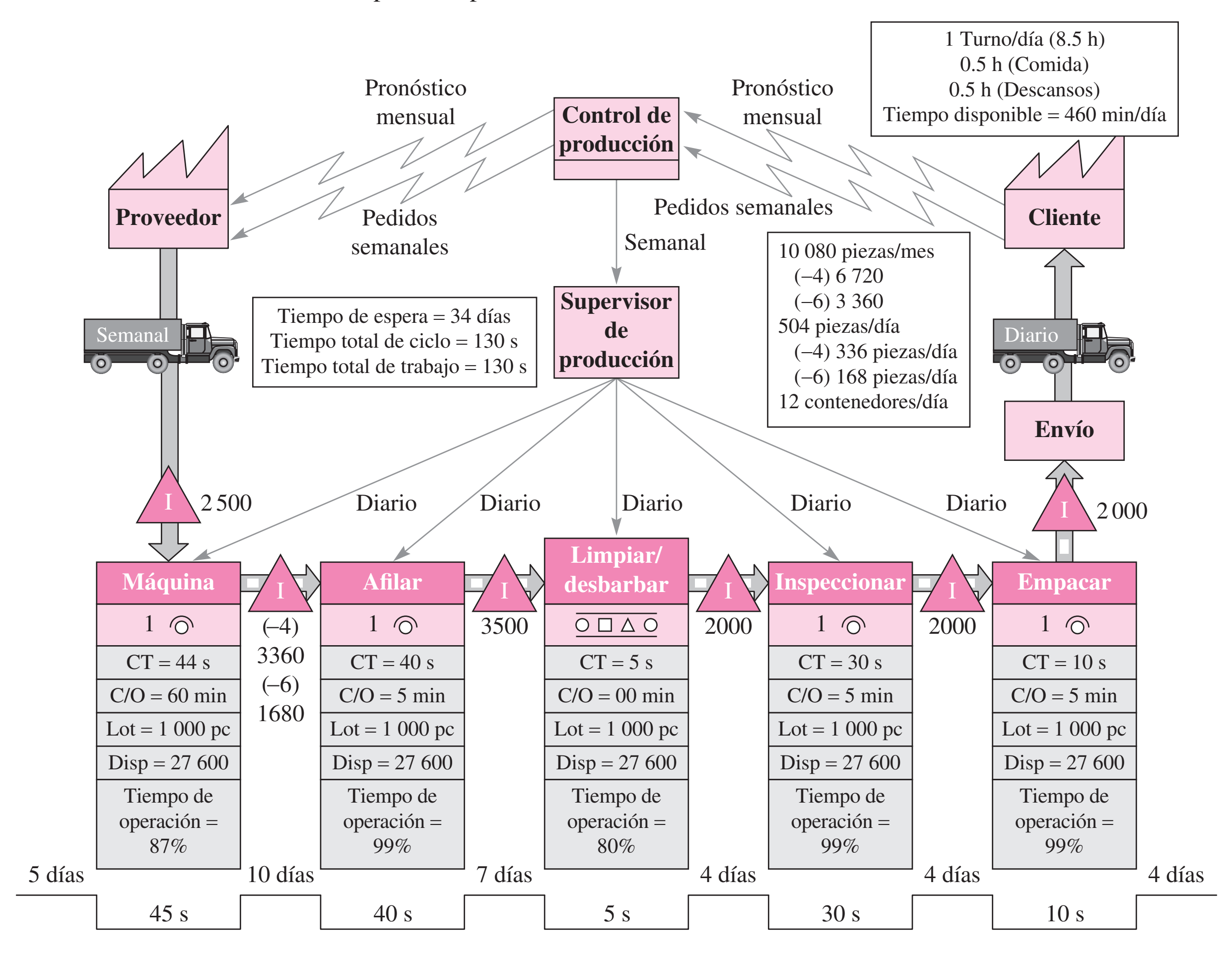
Para crear un proceso eficiente es necesario comprender el negocio por completo, inclusive los procesos de producción, flujos de material y flujos de información. En esta sección examinamos esto en el contexto de un proceso de producción donde se elabora un producto. El VSM no está limitado a este contexto y se aplica fácilmente a servicios, logística, distribución o prácticamente todo tipo de proceso.

En el contexto de un proceso de producción como una planta manufacturera, con esta técnica se identifican todos los procesos que agregan valor y los que no agregan valor a los que se someten los materiales en una planta, desde materia prima que ingresa en la planta hasta la entrega al cliente. La ilustración 13.3 es un mapa que muestra que describe el proceso de producción. Con este mapa se identifican procesos y flujos con desperdicio para modificarse o eliminarse, y el sistema de manufactura sea más productivo.

Los detalles que explican los símbolos se estudiarán más adelante en la sección, pero aquí es útil analizar lo que en realidad significa el mapa descrito en la ilustración 13.3.[6] Desde la izquierda, vemos que se suministra material semanalmente y se deposita en un inventario de materia prima indicado por el triángulo. El nivel promedio de este inventario es de 2 500 unidades. Este material pasa por un proceso de cinco etapas que consiste en maquinado, afilado, limpieza, inspección y empaque. El proceso de maquinado, afilado, inspección y empaque emplea un solo operador. Bajo cada símbolo de proceso está el tiempo de ciclo de actividad (TC), tiempo de cambio (C/O, tiempo para cambiar de un tipo de artículo a otro), tamaño de lote, número disponible en segundos por día y tiempo de operación. La actividad de limpieza/desbarbado es un proceso de pasos múltiples donde los artículos se manejan conforme llegan. Entre cada proceso hay fluctuaciones de inventario, cuyo promedio se describe en la ilustración.

6 Esto se adaptó del material de Strategos Consultants. Vea www.strategosinc.com

ILUSTRACIÓN 13.3 Mapa de un proceso de manufactura.



Los flujos de información se indican en el mapa. En la ilustración 13.3 vemos que el control de producción emite pronósticos de demanda mensual, pedidos semanales al proveedor y un programa de producción semanal que el supervisor maneja diariamente. Los pronósticos mensuales los dan los clientes y colocan sus pedidos semanalmente. La línea de tiempo de la parte inferior muestra el tiempo de procesamiento de cada actividad de producción (en segundos) junto con el promedio de tiempo de espera de inventario. La suma de estos tiempos da una estimación del tiempo de espera a través de todo el sistema.

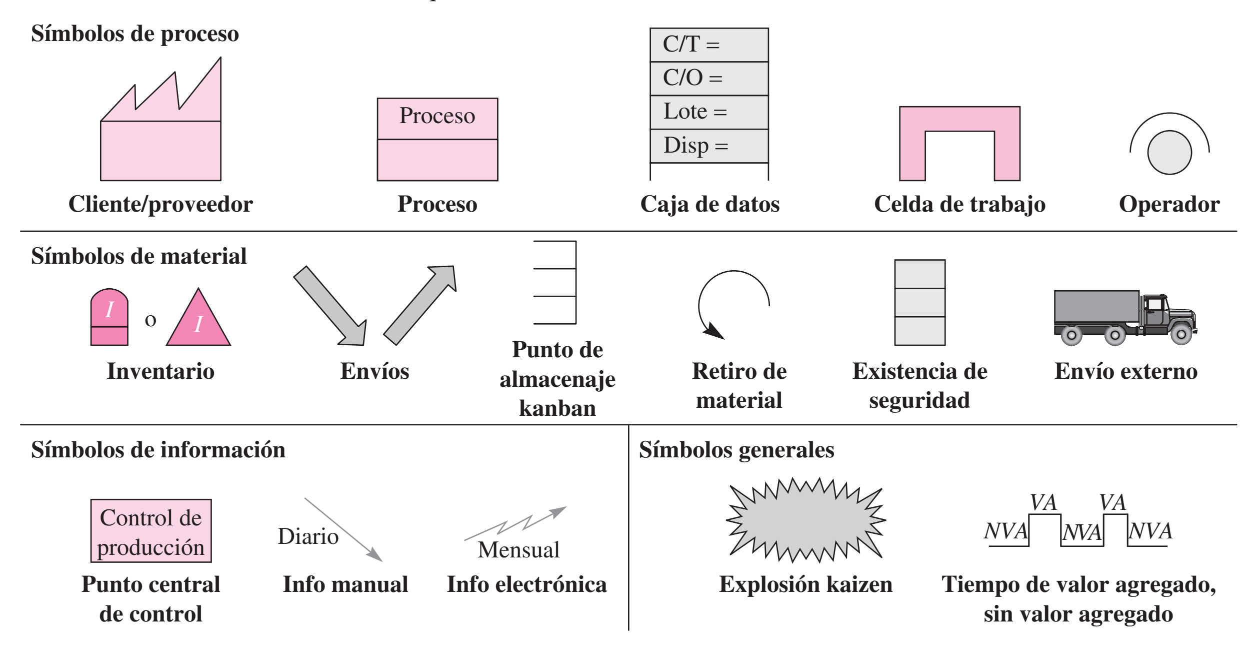
Los símbolos del mapa de flujo de valor (VSM) por lo general son estandarizados, pero hay muchas variaciones. En la ilustración 13.4 se describen varios símbolos comunes que se clasifican como símbolos de proceso, materiales, información y generales.

Kaizen

El mapa de flujo de valor es un proceso en dos partes, que describe primero el "estado actual" del proceso y en segundo término un posible "estado futuro". La ilustración 13.5 describe otro mapa del mismo proceso con mejoras sugeridas. El mapa tiene anotaciones que usan "explosiones" kaizen que sugieren áreas de mejora. **Kaizen** es la filosofía japonesa que se concentra en una mejora continua. En esta ilustración vemos un proceso totalmente rediseñado donde las operaciones individuales de producción se combinan en una celda de trabajo operada por tres empleados. Además, más que "ofrecer" material en el sistema con base en programas semanales generados por el control de producción, todo el proceso se convierte a un sistema por demanda que opera directamente en respuesta a la demanda del cliente. Observe que el tiempo de espera en el nuevo sistema es de solo cinco días, en comparación con el tiempo de espera de 34 días con el antiguo sistema.

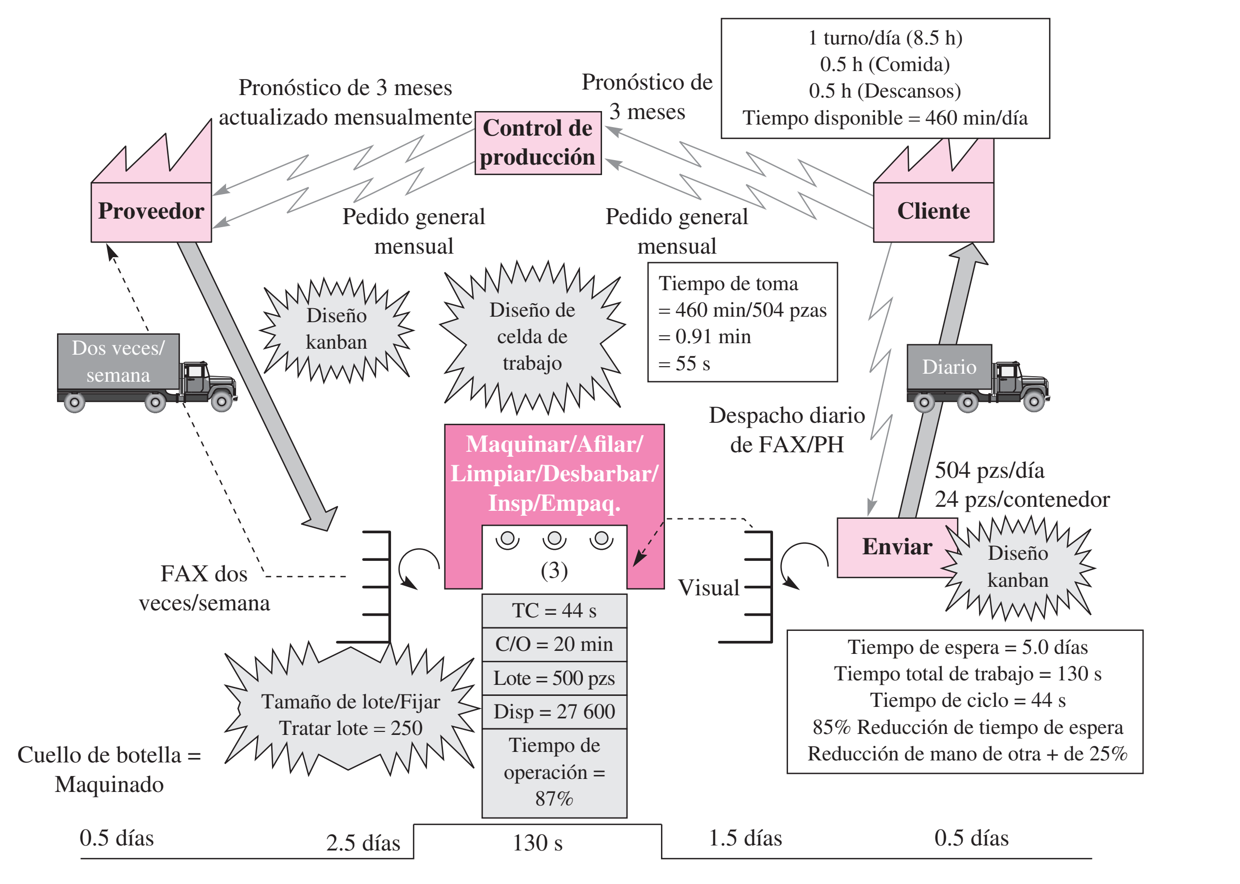
Para estudiar otro ejemplo con el mapa de flujo de valor (VSM), considere el problema resuelto 1 al final del capítulo. El VSM es una muy buena forma visual de analizar un sistema

ILUSTRACIÓN 13.4 Símbolos del esquema de la cadena de valor.



existente y hallar áreas dónde eliminar desperdicio. Es fácil trazar mapas de flujo de valor y es posible elaborarlos en su totalidad con papel y lápiz; no obstante, estos mapas se crean más fácil con software estándar+740-0 de oficina o paquetes de gráficas. Además, hay software especializado en VSM de Stretegos (**www.strategosinc.com**) y System2win (**www.System2win.com**).

ILUSTRACIÓN 13.5 Análisis que muestra áreas potenciales para mejorar un proceso.



Principios de diseño de una cadena de suministro esbelta

Cadena de suministro

Trazar el mapa de flujo de valor es una excelente forma de analizar procesos existentes. La búsqueda de formas para mejorar procesos de una cadena de suministro debe partir de ideas que se hayan demostrado con el tiempo. A continuación se repasa un conjunto de principios básicos que guían el diseño de cadenas de suministro esbeltas. Los principios de diseño se dividen en tres categorías amplias; los dos primeros se relacionan con procesos internos de producción, y son estos principios los que en realidad crean los bienes y servicios en una empresa. La tercera categoría aplica conceptos de adelgazamiento a toda la cadena de suministro. Estos principios son:

1. Diseños esbeltos
   a) Tecnología de grupo
   b) Calidad en la fuente
   c) Producción justo a tiempo (JIT)
2. Programas de producción esbelta
   a) Carga uniforme en planta
   b) Sistema kanban de control de producción
   c) Determinación de números de kanban necesarios
   d) Tiempos de inicio reducidos
3. Cadenas de suministro esbeltas
   a) Plantas especializadas
   b) Trabajar con proveedores
   c) Construir una cadena de suministro esbelta

DISEÑOS ESBELTOS

La producción esbelta requiere que la disposición de la planta esté diseñada para garantizar un flujo de trabajo equilibrado con un inventario mínimo de trabajo en proceso. Cada estación de trabajo forma parte de una línea de producción, ya sea que exista una línea física o no. La capacidad se equilibra mediante la misma lógica para una línea de ensamble y las operaciones se relacionan a través de un sistema kanban. Además, el diseñador del sistema debe visualizar de qué manera se relacionan todos los aspectos del sistema de logística externa e interna con la distribución.

Mantenimiento preventivo

Se destaca el **mantenimiento preventivo** para garantizar que no se interrumpan los flujos debido al tiempo de inactividad o al mal funcionamiento del equipo. El mantenimiento preventivo comprende la inspección periódica y el diseño de reparaciones para que una máquina sea confiable. Los operadores llevan a cabo gran parte del mantenimiento porque conocen mejor sus máquinas y es más fácil repararlas, pues las operaciones esbeltas favorecen el uso de varias máquinas sencillas en lugar de una compleja.

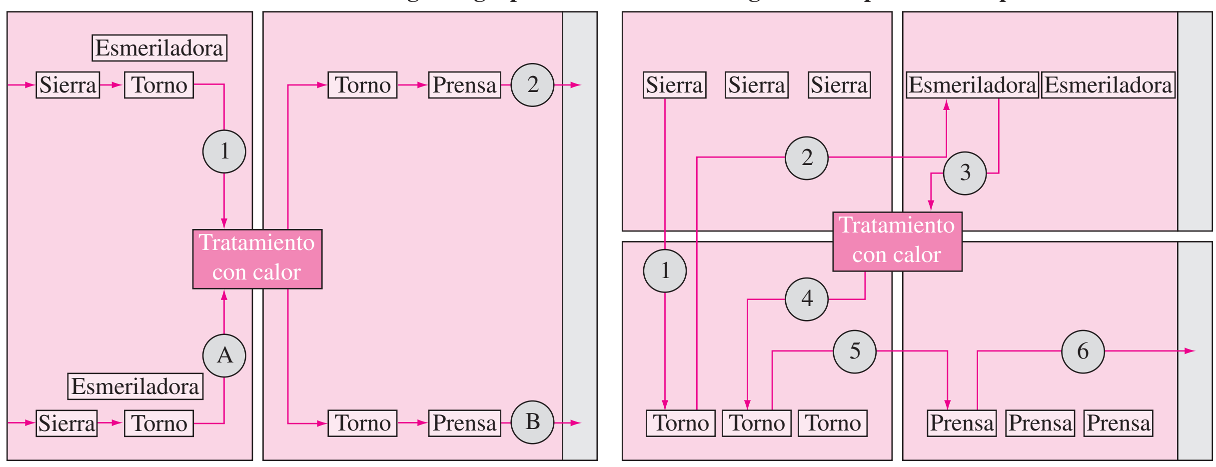
Tecnología de grupos

Tecnología de grupos La **tecnología de grupos** **(TG)** es una filosofía en la cual las piezas similares se agrupan en familias, y los procesos necesarios para hacer las piezas se organizan en una celda de trabajo especializada. En lugar de transferir trabajos de un departamento a otro a los trabajadores especializados, la TG considera todas las operaciones necesarias para elaborar una pieza y agrupa esas máquinas. La ilustración 13.6 muestra la diferencia entre los grupos de diversas máquinas en los centros de trabajo en comparación con la distribución departamental. Las celdas con tecnología de grupos eliminan el movimiento y las filas de espera entre operaciones, reducen el inventario y también el número de empleados requeridos. Sin embargo, los trabajadores deben ser flexibles para manejar varias máquinas y procesos. Debido al nivel de habilidad avanzado, estos trabajadores tienen cada vez mayor seguridad laboral.

Calidad en la fuente

Calidad en la fuente **Calidad en la fuente** significa hacer bien las cosas desde la primera vez y, cuando algo sale mal, detener de inmediato el proceso o la línea de ensamblado. Los obreros de las fábricas se convierten en sus propios inspectores y son responsables de la calidad de su producción. Los trabajadores se concentran en una parte del trabajo a la vez, de modo que

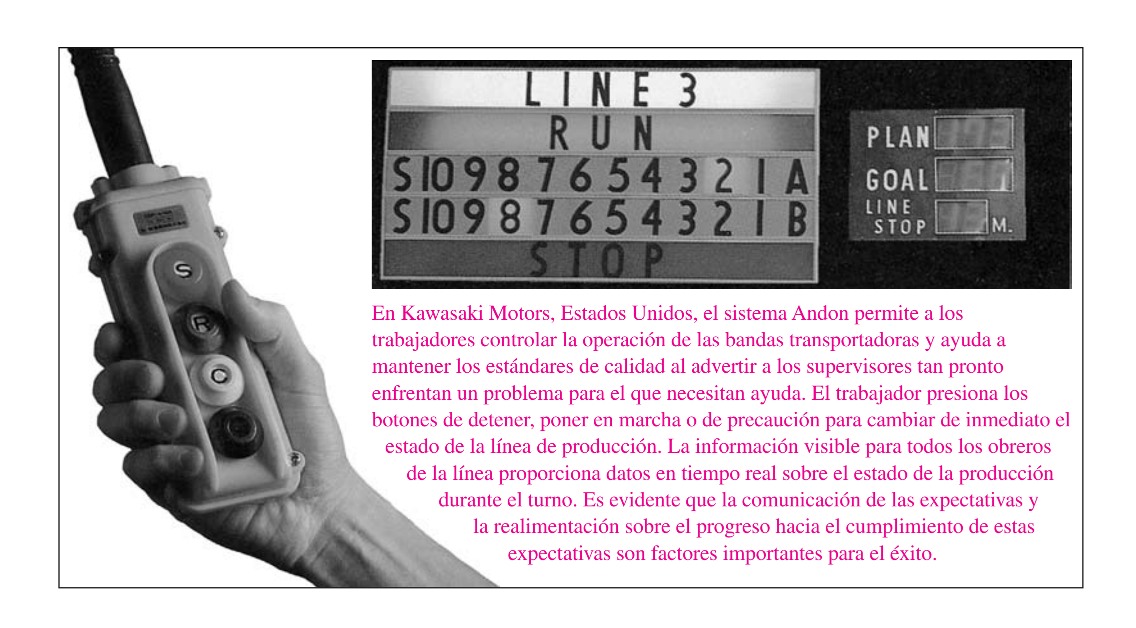
ILUSTRACIÓN 13.6 Tecnología de grupo *versus* especialidad departamental.



descubren los problemas de calidad. Si el ritmo es demasiado rápido, si el obrero descubre un problema de calidad o si encuentra algún problema de seguridad, el trabajador está obligado a presionar un botón para detener la línea y encender una señal visual. La gente de otras áreas responde a la señal de alarma y al problema. Los trabajadores tienen la autoridad para realizar el mantenimiento hasta que el problema se corrija.

Producción justo a tiempo Justo a tiempo significa producir lo que se necesita cuando se necesita y no más. Cualquier cantidad que exceda el mínimo requerido se considera un desperdicio, porque se invierte esfuerzo y material en algo que no es necesario en ese momento. Este enfoque contrasta con el almacenamiento de material adicional por si algo sale mal.

La producción justo a tiempo suele aplicarse en la manufactura repetitiva, cuando se fabrican artículos iguales o similares uno tras otro. Esta producción no requiere volúmenes muy altos y se puede aplicar en cualquier segmento repetitivo de un negocio, sin importar dónde aparecen. En la producción justo a tiempo, el tamaño de lote ideal es uno. Aunque las estaciones de trabajo estén geográficamente dispersas, los japoneses disminuyen el tiempo de tránsito y mantienen las cantidades por transferir en un nivel bajo, casi siempre una décima parte de la producción de un día. Incluso los proveedores hacen envíos varias veces al día con el fin de manejar lotes pequeños



En Kawasaki Motors, Estados Unidos, el sistema Andon permite a los trabajadores controlar la operación de las bandas transportadoras y ayuda a mantener los estándares de calidad al advertir a los supervisores tan pronto enfrentan un problema para el que necesitan ayuda. El trabajador presiona los botones de detener, poner en marcha o de precaución para cambiar de inmediato el estado de la línea de producción. La información visible para todos los obreros de la línea proporciona datos en tiempo real sobre el estado de la producción durante el turno. Es evidente que la comunicación de las expectativas y la realimentación sobre el progreso hacia el cumplimiento de estas expectativas son factores importantes para el éxito.

ILUSTRACIÓN 13.7 El inventario oculta los problemas.

Tiempo de inactividad de las máquinas
Desperdicio
Faltas de los proveedores
INVENTARIO
Filas de espera del trabajo en proceso ("bancos")
Redundancias en el diseño de ingeniería
Cambio de pedidos
PROBLEMAS DE PRODUCTIVIDAD
Acumulación de inspecciones
Acumulación de papeleo
Acumulación de pedidos de entrada
Acumulación de decisiones

y mantener bajo el inventario. La meta es que todas las filas de espera en el inventario queden en cero, lo que reduce al mínimo la inversión en inventario y acorta los tiempos de entrega.

Cuando los niveles de inventario son bajos, los problemas de calidad se vuelven muy visibles. La ilustración 13.7 muestra esta idea. Si el agua en un estanque representa el inventario, las rocas representan los problemas que pueden ocurrir en una empresa. Un nivel de agua alto oculta los problemas (las rocas). La gerencia supone que todo está bien, pero cuando el nivel de agua baja durante una recesión económica, aparecen los problemas. Si uno hace que el nivel de agua baje en forma deliberada (sobre todo en tiempos de bonanza económica), es posible dejar expuestos los problemas y corregirlos antes de que provoquen otros peores. La manufactura justo a tiempo deja expuestos los problemas que de otra manera permanecerían ocultos por el exceso de inventarios y personal.

PROGRAMAS DE PRODUCCIÓN ESBELTA

Programa nivelado

Como ya se mencionó, una producción esbelta requiere un programa estable en un horizonte de tiempo largo. Esto se logra mediante nivelación de programas, congelación de ventanas y subutilización de capacidad. Un **programa nivelado** es el que entrega material en un ensamble final de manera uniforme para que los diversos elementos de producción respondan a las señales de demanda. No necesariamente significa que se identifica el uso de toda pieza en una línea de ensamble hora por hora durante días, sin parar; significa que un sistema de producción determinado, equipado con inicios flexibles y una cantidad fija de material en los flujos, puede responder.[7]

Congelación de ventana

Contraflujo

El término **congelación de ventana** se refiere al tiempo durante el cual se fija el programa y no son posibles más cambios. Un beneficio agregado de un programa estable se observa en la forma en que se consideran piezas y componentes en un sistema de demanda. Aquí, el concepto de **contraflujo** se usa donde las piezas que entran en cada unidad del producto se retiran periódicamente del inventario y se les considera según el número de unidades producidas. Esto elimina gran parte de la actividad de recopilación de información del piso del taller, que se requiere si cada pieza debe rastrearse y considerarse durante la producción.

La subutilización y el exceso de utilización de la capacidad son funciones características de una producción esbelta. Los métodos convencionales utilizan existencias de seguridad y entregas rápidas como protección contra problemas de producción, como mala calidad, fallas de máquinas y cuellos de botella no anticipados en la manufactura tradicional. En una producción esbelta, el exceso de mano de obra, máquinas y tiempo extra ofrecen esa protección. El exceso de capacidad en mano de obra y equipo que resulta es mucho más barato que soportar un exceso de inventario. Cuando la demanda es mayor a lo esperado debe usarse tiempo extra. Con fre-

[7] R. H. Hall, *Zero Inventories*, Homewood, Illinois, Dow Jones-Irwin, 1983, p. 64.

ILUSTRACIÓN 13.8 Ejemplo del ciclo de producción de modelos mixtos de Toyota en una planta de ensamblado japonesa.

Modelo	Cantidad mensual	Cantidad diaria	Tiempo de ciclo del modelo (minutos)
Sedán	5 000	250	2
Hardtop	2 500	125	4
Camioneta	2 500	125	4

Secuencia: sedán, hardtop, sedán, camioneta, sedán, hardtop, sedán, camioneta, y así sucesivamente (con diferencia de un minuto).

cuencia se usa mano de obra de tiempo parcial cuando se necesita capacidad adicional. Durante periodos sin actividad, al personal se le puede poner a trabajar en otras actividades, como proyectos especiales, actividades de trabajo en grupo y limpieza de la estación de trabajo.

Carga uniforme en la planta Uniformar el flujo de producción para evitar las reacciones comunes ante las variaciones en la programación se conoce como **carga uniforme en la planta**. Al realizar un cambio en el ensamblado final, los cambios se amplifican en toda la línea y la cadena de suministro. La única forma de eliminar el problema es realizar pequeños ajustes al plan de producción mensual de la empresa para el cual se congeló el índice de producción.

Carga uniforme en la planta

Toyota descubrió que podía hacer esto al crear la misma mezcla de productos todos los días en cantidades pequeñas. Por tanto, siempre tienen una mezcla total disponible para responder a las variaciones de la demanda. Un ejemplo de Toyota se muestra en la ilustración 13.8. Las cantidades de estilos de autos mensuales se reducen a las cantidades diarias (suponiendo meses de 20 días) con el fin de calcular un *tiempo de ciclo* del modelo (definido como el tiempo entre la terminación de dos unidades idénticas en la línea). Con la cifra del tiempo de ciclo se ajustan los recursos para producir la cantidad exacta necesaria. La velocidad del equipo o de la línea de producción se ajusta de modo que cada día se produce solo la cantidad necesaria. La producción justo a tiempo pretende producir de acuerdo con lo programado, el costo y la calidad.

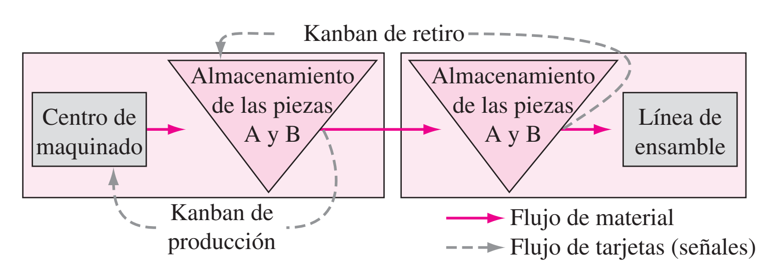
Sistemas de control de producción kanban Un sistema de control kanban regula los flujos justo a tiempo mediante un dispositivo de señalización. **Kanban** significa "signo" o "tarjeta de instrucción" en japonés. En un sistema de control sin papel es posible utilizar contenedores en lugar de tarjetas. Los contenedores o tarjetas constituyen el **sistema de demanda kanban**. La autoridad para producir o suministrar piezas adicionales proviene de las operaciones posteriores. Considere la ilustración 13.9, donde se muestra una línea de ensamblado que recibe las piezas de un centro de maquinado. El centro de maquinado hace dos piezas, A y B. Estas dos piezas se almacenan en contenedores localizados junto a la línea de ensamblado y junto al centro de maquinado. Cada contenedor junto a la línea de ensamblado tiene un kanban de retiro, y cada uno de los que están junto al centro de maquinado tiene un kanban de producción. Esto se conoce a menudo como sistema kanban de dos tarjetas.

Kanban

Sistema de demanda kanban

Cuando la línea de ensamble toma la primera pieza A de un contenedor lleno, un trabajador toma el kanban de retiro del contenedor y lleva la tarjeta al área de almacenamiento del centro de maquinado. En el área del centro de maquinado, el trabajador encuentra un contenedor de la

ILUSTRACIÓN 13.9 Flujo de dos kanbanes.



pieza A, quita el kanban de producción y lo reemplaza con el kanban de retiro. La colocación de esta tarjeta en el contenedor autoriza el movimiento de este a la línea de ensamble. El kanban de producción se coloca en un anaquel cerca del centro de maquinado, lo que autoriza la producción de otro lote del material. Un proceso similar se sigue para la pieza B. Las tarjetas en el anaquel se convierten en la lista de despachos para el centro de maquinado. Las tarjetas no constituyen la única forma de indicar la necesidad de producir una pieza; hay otros métodos visuales, como lo muestra la ilustración 13.10.

Los siguientes son otros posibles enfoques:

Cuadros kanban. Algunas compañías utilizan espacios marcados en el piso o en una mesa para identificar el lugar donde se debe guardar el material. Cuando el cuadro está vacío, las operaciones de suministro tienen autorización de producir; cuando el cuadro está lleno, no se necesita ninguna pieza.

Sistema de contenedores. En ocasiones, el contenedor mismo se puede utilizar como dispositivo para señalar. En este caso, un contenedor vacío en el suelo de la fábrica señala en forma visual la necesidad de llenarlo. La cantidad de inventario se ajusta agregando o quitando contenedores.

Pelotas de golf de colores. En una planta de motores Kawasaki, cuando una pieza que se utiliza en un subensamble está más abajo del límite de piezas en fila de espera, el ensamblador envía una pelota de golf de colores por un tubo que llega hasta el centro de maquinado. Esto indica al operador qué pieza se necesita a continuación. Se han puesto en práctica diversas variaciones de este enfoque.

Cadena de suministro

El enfoque de demanda kanban es aplicable no solo en una instalación de manufactura, sino también en instalaciones de manufactura (al tomar motores y transmisiones en una operación de ensamble automotriz, por ejemplo), y en fabricantes y proveedores externos.

Cómo determinar el número de kanbanes necesarios Al establecer un sistema de control kanban es necesario determinar la cantidad de tarjetas (o contenedores) kanban requeridos. En un sistema de dos tarjetas se busca el número de grupos de tarjetas de retiro y producción. Las tarjetas kanban representan la cantidad de contenedores de material que fluye hacia adelante y hacia atrás entre el proveedor y las áreas de usuarios. Cada contenedor representa la producción mínima por suministrar. Por tanto, el número de contenedores controla directamente la cantidad de inventario de trabajo en proceso en el sistema.

El cálculo preciso del tiempo de entrega necesario para fabricar un contenedor de piezas es la clave para determinar el número de contenedores. La duración de este tiempo de entrega está en función del tiempo de procesamiento del contenedor, cualquier tiempo de espera durante el

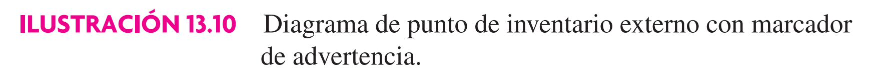
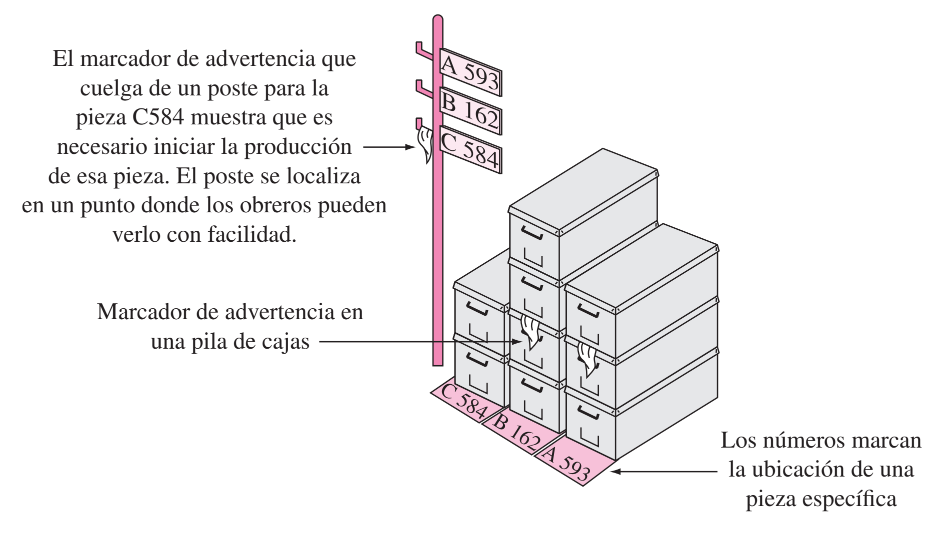


ILUSTRACIÓN 13.10 Diagrama de punto de inventario externo con marcador de advertencia.



proceso de producción y el tiempo requerido para transportar el material al usuario. Son necesarios suficientes kanbanes para cubrir la demanda esperada durante este tiempo además de la cantidad adicional de existencias de seguridad. El número de grupos de tarjetas kanban es

$$k = \frac{\text{Demanda esperada durante el tiempo} + \text{Existencia de seguridad}}{\text{Tamaño del contenedor}}$$

$$= \frac{DL(1 + S)}{C} \qquad \textbf{(13.1)}$$

donde

k = Número de grupos de tarjetas kanban
D = Número promedio de unidades demandadas por periodo (el tiempo de entrega y la demanda se deben expresar en las mismas unidades de tiempo)
L = Tiempo de reabastecimiento de un pedido (expresado en las mismas unidades que la demanda)
S = Existencias de seguridad expresadas como porcentaje de la demanda durante el tiempo de entrega (puede ser con base en un nivel de servicio y la varianza, como se muestra en el capítulo 17)
C = Tamaño del contenedor

Observe que un sistema kanban no produce cero inventario; en cambio, controla la cantidad de material en proceso en un momento determinado: el número de contenedores de cada artículo. El sistema kanban se ajusta con facilidad a la forma en que opera el sistema porque los grupos de tarjetas se agregan o quitan con facilidad del sistema. Si los trabajadores se dan cuenta de que no pueden reabastecer el artículo a tiempo, es posible agregar un contenedor más del material con las tarjetas kanban correspondientes; si se dan cuenta de que se acumulan demasiados contenedores de material se eliminan grupos de tarjetas con facilidad, lo que reduce la cantidad de inventario.

EJEMPLO 13.1: Cómo determinar el número de grupos de tarjetas kanban

Arvin Automotive, fabricante de silenciadores para los Tres Grandes, toma el material en todas las celdas de manufactura mediante el sistema kanban. Arvin diseñó cada celda para fabricar una familia específica de silenciadores. La fabricación de un silenciador comprende cortar y doblar las piezas de tubo que van soldadas a él y a un convertidor catalítico. Los silenciadores y convertidores catalíticos se llevan a la celda con base en la demanda en curso. Los convertidores catalíticos están hechos en una celda especializada.

Cadena de suministro

Los convertidores catalíticos se producen en lotes de 10 unidades y se transportan en carros manuales especiales hasta las celdas de fabricación. La celda del convertidor catalítico está diseñada de modo que sea posible hacer distintos tipos de convertidores prácticamente sin ninguna pérdida. La celda responde a un pedido de un lote de convertidores en un tiempo aproximado de cuatro horas. Como la celda para los convertidores catalíticos está junto a la celda de fabricación de silenciadores, el tiempo de transporte es casi de cero.

La celda de fabricación de silenciadores produce un promedio de ocho ensambles por hora. Cada ensamble utiliza el mismo convertidor catalítico. Debido a cierta variabilidad en el proceso, la gerencia decidió tener existencias de seguridad equivalentes a 10% del inventario necesario.

¿Cuántos grupos kanban se necesitan para manejar la reposición de los convertidores catalíticos?

Solución

En este caso, el tiempo para la reposición de los convertidores (L) son cuatro horas. La demanda (D) de convertidores catalíticos es de ocho por hora. El inventario de seguridad (S) es 10% de la demanda esperada, y el tamaño del contenedor (C), de 10 unidades.

$$k = \frac{8 \times 4(1 + .1)}{10} = \frac{35.2}{10} = 3.52$$

En este caso se necesitan cuatro grupos de tarjetas kanban, y se tendrían cuatro contenedores de convertidores en el sistema. En todos los casos, al calcular k se redondea el número hacia arriba porque siempre se necesita trabajar con contenedores llenos de piezas. ●

Tiempos de preparación reducidos Las reducciones en tiempos de inicio y cambio son necesarias para obtener un flujo sin problemas. La ilustración 13.11 muestra la relación entre el tamaño de un lote y el costo de preparación. En un método tradicional, el costo de preparación se trata como una constante, y la cantidad mínima de un pedido se muestra como seis; en el método kanban, el costo de preparación se reduce considerablemente y también la cantidad correspondiente de pedido óptimo. En la ilustración, la cantidad del pedido se redujo de seis a dos mediante métodos esbeltos al utilizar procedimientos que ahorran el tiempo de preparación. Al final, esta empresa se esforzará en llevar a un tamaño de lote de uno.

Global

En un ejemplo muy conocido de finales de la década de 1970, los equipos de operadores de prensas de Toyota que producían capotas y defensas para autos lograron cambiar una prensa de 800 toneladas en 10 minutos, en comparación con un promedio de seis horas de los obreros estadounidenses y cuatro horas de los alemanes (sin embargo, en la actualidad, esa rapidez es común en casi todas las plantas automotrices de Estados Unidos). Para lograr estas reducciones del tiempo de preparación, el proceso se divide en actividades externas e internas. La preparación interna se debe realizar mientras la máquina está detenida. La preparación externa se lleva a cabo mientras la máquina está en operación. Con el fin de acelerar la preparación, también se utilizan otros dispositivos que contribuyen a ahorrar tiempo, como tener por duplicado herramientas para sostener aparatos.

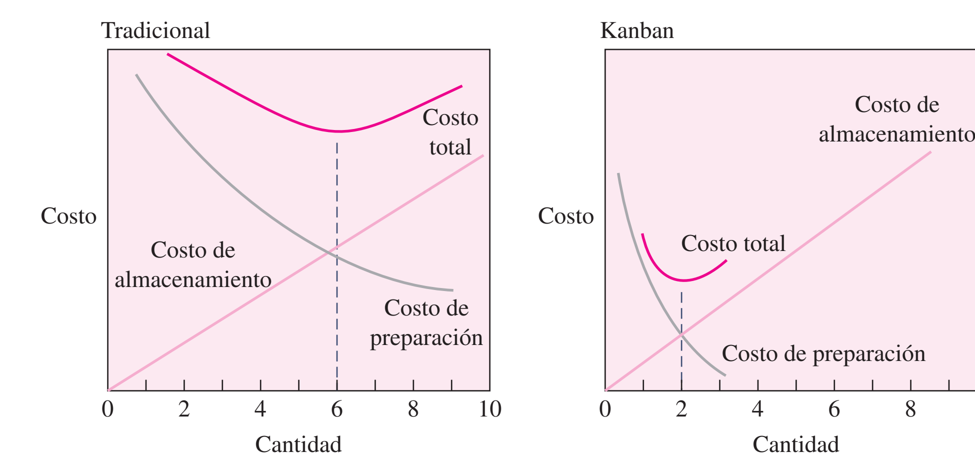
CADENAS DE SUMINISTRO ESBELTAS

Cadena de suministro

Construir una cadena de suministro esbelta exige tomar un método de sistemas para integrar a los socios. El suministro debe coordinarse con la necesidad de las instalaciones de producción, y la producción debe vincularse directamente a la demanda que los clientes hagan del producto. No se puede exagerar la importancia de la rapidez y el flujo uniforme y consistente que respondan a la demanda real de un cliente. A continuación veremos los conceptos que se relacionan con el diseño de una red esbelta.

Plantas especializadas Son importantes las plantas especializadas pequeñas, no así las instalaciones manufactureras grandes integradas verticalmente. Es difícil manejar las operaciones grandes y sus burocracias inherentes, y no se apegan a una filosofía de adelgazamiento. Las plantas diseñadas para un fin se construyen y operan de manera más económica. Estas plantas necesitan vincularse para estar sincronizadas entre sí y con la necesidad real del mercado. La rapidez y la pronta respuesta a los cambios son fundamentales para el éxito de una cadena de suministro esbelta.

ILUSTRACIÓN 13.11 Relación entre el tamaño del lote y el costo de preparación.



Definiciones: El costo de almacenamiento incluye los costos de guardar el inventario y el costo del dinero relacionado con el inventario. El costo de preparación incluye los costos salariales atribuibles a los trabajadores que se encargan de la preparación, así como los diversos costos administrativos y de suministro (estos se definen en el capítulo 17).

Trabajo con los proveedores Así como los clientes y los empleados son componentes clave de los sistemas esbeltos, los proveedores también son importantes para el proceso. Si una empresa comparte sus requerimientos futuros de uso con sus proveedores, estos tienen un panorama de largo plazo de las demandas en sus sistemas de producción y distribución. Algunos proveedores están vinculados en línea con un cliente para compartir el programa de producción y la información sobre las necesidades de insumos. Esto les permite poner en práctica sistemas de producción nivelados. La confianza en el compromiso de entrega del proveedor permite reducciones en los inventarios de seguridad. Mantener las existencias en un nivel esbelto requiere entregas frecuentes durante el día. Algunos proveedores incluso entregan en la línea de producción y no en un puerto de recepción. Cuando los proveedores adoptan prácticas de calidad es posible eliminar las inspecciones de recepción de sus productos.

Creación de una cadena de suministro esbelta Como se estudió en el capítulo 11, una cadena de suministro es la suma total de las organizaciones involucradas, desde las empresas de materia prima, pasando por los grupos de proveedores, hasta los fabricantes de equipo original, la distribución y la entrega del producto terminado al cliente. Womack y Jones, en su influyente obra *Lean Thinking*, proporcionan los siguientes lineamientos para implantar una cadena de suministro esbelta:[8]

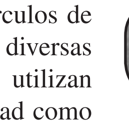
- Es preciso definir el valor de manera conjunta para cada familia de productos con un costo meta basado en la percepción del valor por parte del cliente.
- Todas las empresas a lo largo de la cadena de valor deben obtener una recuperación adecuada de sus inversiones relacionadas con la cadena del valor.
- Las compañías deben trabajar juntas para identificar y eliminar la *muda* (desperdicio) hasta el punto en el que se logre el costo meta y la recuperación de las inversiones de cada empresa.
- Al alcanzar los costos meta, las empresas en la cadena realizarán de inmediato análisis nuevos para identificar la *muda* restante y establecer nuevos objetivos.
- Toda empresa participante tiene el derecho de examinar todas las actividades de cada empresa pertinente para la cadena de valor como parte de la búsqueda conjunta de desperdicio.

En resumen: para ser esbeltos, todos tienen que poner de su parte.

Servicios esbeltos

Las empresas de servicios aplican con éxito muchas técnicas esbeltas. Al igual que en la manufactura, la adecuación de cada técnica y los pasos de trabajo correspondientes dependen de las características de los mercados de la compañía, su producción y tecnología de equipo, sus habilidades y la cultura corporativa. Las empresas de servicios no son diferentes en este aspecto. A continuación se presentan 10 de las aplicaciones más exitosas.

Servicio


Global

1. **Grupos organizados para la solución de problemas.** Honeywell amplió sus círculos de calidad de la manufactura a las operaciones de servicios. Otras corporaciones tan diversas como First Bank/Dallas, Standard Meat Company y Miller Brewing Company utilizan enfoques similares para mejorar el servicio. British Airways usó círculos de calidad como parte fundamental de su estrategia para instrumentar nuevas prácticas de servicios.
2. **Mejorar la limpieza.** Una buena limpieza no solo significa pasar la escoba, sino también que en el área de trabajo se mantengan solo los artículos necesarios, que haya un lugar para cada cosa y que todo esté limpio y en estado constante de preparación. Los empleados limpian su propia área.

   Las organizaciones de servicios como McDonald's, Disneylandia y Speedi-Lube reconocen la naturaleza crítica de la limpieza. Su dedicación a esta significa que los procesos de servicio funcionan mejor, es más fácil desarrollar una actitud de mejora continua y los clientes perciben que reciben un mejor servicio.

[8] J. P. Womack y D. T. Jones, *Lean Thinking*, Nueva York, Simon & Schuster, 1996, p. 277.

3. **Mejorar la calidad.** La única forma rentable de mejorar la calidad es poner en práctica capacidades de procesos confiables. La calidad de procesos es la esencia misma de la calidad: garantiza la creación de productos y servicios consistentes y uniformes desde la primera vez.

   McDonald's es famoso por crear calidad en su proceso de prestación de servicios; literalmente "industrializó" el sistema de prestación de servicios de modo que los trabajadores de medio tiempo ofrecieran la misma experiencia al comer en cualquier parte del mundo. Calidad no significa producir lo mejor, sino producir de manera constante productos y servicios que den a los clientes más valor por su dinero.
4. **Despejar los flujos de procesos.** Abrir espacios para los flujos, con base en los temas justo a tiempo, mejora en gran medida el desempeño del proceso. A continuación se presentan tres ejemplos.

   Primero, Federal Express Corporation cambió los patrones de vuelo del lugar de origen al destino por el del lugar de origen al centro de distribución, donde la carga se transfiere a un avión que se dirige a un destino determinado. Esto revolucionó la industria de la transportación aérea. Segundo, el departamento de entrada de pedidos de una empresa manufacturera convirtió los departamentos funcionales en grupos de trabajo centrados en el cliente y redujo el tiempo de procesamiento de pedidos de ocho a dos días. Por último, Supermaids envía un equipo de limpiadores de casas, cada uno con una responsabilidad específica, para limpiar cada casa con rapidez mediante procesos paralelos. Los cambios en los flujos de procesos literalmente revolucionan las industrias de servicios.
5. **Revisar las tecnologías de equipo y procesos.** La revisión de las tecnologías comprende la evaluación del equipo y los procesos en cuanto a su capacidad para cumplir con los requerimientos de los procesos, para procesar de manera consistente dentro de una tolerancia, y para adecuarse a la escala y capacidad del grupo de trabajo.

   Speedi-Lube convirtió el concepto de la estación de servicio estándar en un centro especializado de lubricación e inspección al cambiar las bahías de servicio, eliminar los elevadores y construir fosas debajo de los autos desde donde los empleados tienen acceso total a las áreas de lubricación del vehículo.

   Un hospital redujo el tiempo de preparación de quirófanos con el fin de tener flexibilidad para realizar más operaciones sin disminuir su disponibilidad.
6. **Nivelar la carga en las instalaciones.** Las empresas de servicios sincronizan la producción con la demanda. Crearon estrategias únicas para nivelar la demanda con el fin de evitar que los clientes tengan que esperar el servicio. McDonald's ofrece un menú especial para desayunar. Las tiendas minoristas utilizan sistemas de turnos. La oficina de correos cobra más por las entregas al día siguiente. Estos son ejemplos del enfoque de servicios para crear cargas uniformes en las instalaciones.
7. **Eliminar actividades innecesarias.** Un paso que no agrega valor es candidato para su eliminación. Un paso que sí agrega valor puede ser candidato para su reingeniería con el fin de mejorar la uniformidad del proceso o reducir el tiempo invertido en realizar las actividades.

   Un hospital descubrió que se invertía mucho tiempo durante una cirugía al esperar un instrumento que no estaba disponible al iniciar la operación, de modo que puso en práctica la verificación de una lista con los instrumentos necesarios para cada categoría de operaciones. Speedi-Lube eliminó algunos pasos pero también agregó otros que no mejoran el proceso de lubricación, sino que hacen que los clientes se sientan más seguros con el trabajo realizado.
8. **Reorganizar la configuración física.** Con frecuencia, las configuraciones del área de trabajo requieren reorganizarse durante una implementación esbelta. A menudo, para lograr esto los fabricantes establecen celdas de manufactura y producir así artículos en lotes pequeños, en sincronía con la demanda. Estas celdas constituyen microfábricas dentro de la planta.

   La mayor parte de las empresas de servicios están muy por debajo de los fabricantes en esta área. Sin embargo, hay algunos

ejemplos interesantes provenientes del sector de servicios. Algunos hospitales, en lugar de trasladar a los pacientes por todo un edificio para realizarles pruebas, análisis, rayos X y aplicarles inyecciones, reorganizan sus servicios en grupos de trabajo con base en el tipo de problema. Los equipos que solo tratan traumatismos son muy comunes, pero se forman otros grupos de trabajo para tratar condiciones que requieren una atención menos inmediata, como las hernias. Esto da lugar a miniclínicas dentro de las instalaciones de un hospital.

9. **Introducir programación basada en la demanda.** Debido a la naturaleza de la producción y el consumo de servicios, una programación basada en la demanda (dirigida al cliente) es necesaria para operar un negocio de servicios. Además, muchas empresas de servicios separan sus operaciones en instalaciones "al fondo" y "de contacto con el cliente". Este enfoque da lugar a nuevos problemas en la coordinación de la programación entre las instalaciones. Los restaurantes Wendy's originales estaban construidos de modo que los cocineros podían ver los autos cuando entraban al estacionamiento. Colocaban un número previamente establecido de carnes para hamburguesa en la parrilla para cada auto. Este sistema se diseñó con el fin de tener una carne para hamburguesa fresca en la parrilla incluso antes de que el cliente hiciera su pedido.
10. **Creación de redes de proveedores.** El término *redes de proveedores* en el contexto esbelto se refiere a la asociación cooperativa de proveedores y clientes de largo plazo para beneficio mutuo. Las empresas de servicios no destacan las redes de proveedores de materiales porque los costos de los servicios a menudo se basan sobre todo en la mano de obra. Algunas excepciones notables son organizaciones de servicios como McDonald's, uno de los compradores de productos alimentarios más grandes del mundo, que implantó prácticas esbeltas. Manpower y otras agencias de empleos establecen relaciones esbeltas con servicios de empleos temporales y escuelas comerciales para generar una fuente confiable de obreros capacitados.

Resumen

La producción esbelta ha demostrado su valía en miles de empresas de todo el mundo. La idea que impulsa la *producción esbelta* es lograr un volumen alto con un inventario mínimo. Toyota fue la pionera en las ideas relacionadas con la producción *esbelta* con su sistema de producción. Los conceptos esbeltos se aplican mejor en ambientes donde se generan los mismos productos una y otra vez en volúmenes relativamente altos. El esquema de la cadena de valor es una útil herramienta para visualizar cadenas de suministro y aplicar conceptos esbeltos.

Conceptos clave

Producción esbelta Actividades integradas, diseñadas para lograr un volumen alto, una producción de alta calidad con inventarios mínimos de materia prima, trabajo en proceso y bienes terminados.

Valor al cliente En el contexto de conceptos esbeltos, es algo por lo cual el cliente está dispuesto a pagar.

Desperdicio Algo que no agrega valor desde la perspectiva del cliente.

Cadena de valor Actividades que agregan y no agregan valor, necesarias para diseñar, ordenar y proveer un producto desde su concepto hasta su lanzamiento, orden para entrega, y materias primas a clientes.

Reducción de desperdicio Optimización de actividades que agregan valor y eliminación de actividades que no agregan valor, que son parte de la cadena de valor.

Mapa de flujo de valor Forma gráfica de analizar dónde hay valor o dónde no se agrega valor mientras el material fluye a través de un proceso.

Kaizen Filosofía japonesa que se concentra en la mejora continua.

Mantenimiento preventivo Inspección y reparación periódica diseñadas para mantener un equipo confiable.

Tecnología de grupos Filosofía en la que las piezas similares se agrupan en familias y los procesos requeridos para hacer las piezas se organizan en una celda de trabajo especializada.

Calidad en la fuente Filosofía en la que los trabajadores de una fábrica son responsables de la calidad de su producción. Se espera que los empleados hagan la pieza de manera correcta desde la primera vez y detengan el proceso de inmediato cuando haya un problema.

Programa nivelado Programación que envía el material al ensamble final con un ritmo constante.

Congelación de ventana Periodo durante el cual la programación es fija y no es posible ningún cambio.

Contraflujo Cálculo de la cantidad de cada pieza que se utiliza en la producción y uso de estos cálculos para ajustar el inventario disponible en el momento. Esto elimina la necesidad de rastrear cada pieza usada en la producción.

Carga uniforme en la planta Uniformar el flujo de producción para reducir la variación en la programación.

Kanban y sistema de demanda kanban Sistema de control de inventario o producción que utiliza un dispositivo señalador para regular los flujos.

Revisión de fórmula

Para determinar la cantidad de kanbanes

$$k = \frac{DL(1 + S)}{C} \qquad (13.1)$$

Problemas resueltos

Problema resuelto 1

Ejemplo de mapa de flujo de valor: Manufactura de pernos[9]

Un ejemplo sencillo ilustrará el uso del mapa de flujo de valor. La ilustración 13.12 describe una operación de manufactura de pernos que envía 7 500 pernos por semana. El actual mapa de estado provee información de tiempo de ciclo y tiempo de preparación para cada uno de los 15 procesos que se emplean, y da niveles de inventario en cada ubicación. El mapa también describe el flujo de información entre el proveedor de acero, el cliente de pernos y la administración mediante una programación de la producción. El tiempo total de valor agregado, que se denota como tiempo de procesamiento se obtiene al sumar todas las aportaciones individuales de valor agregado en cada paso de procesamiento en la línea de tiempo. Para el ejemplo, es igual a 28.88 segundos. En cada ubicación de inventario, el tiempo de espera se calcula dividiendo el nivel de inventario entre la demanda diaria de producción, que es de 1 500 pernos. Al sumar todo el tiempo de espera se obtiene el tiempo total de espera de la producción de 66.1 días, que es todo el tiempo que tarda un perno individual en salir de la planta.

Hay varias posibilidades para optimizar la situación actual de producción; la ilustración 13.13 indica algunas, que se ven como explosiones kaisen, como la eliminación de varios pasos de procesamiento, modificación de algunos procesos existentes y reducción de distancias de viaje entre procesos. La ilustración 13.14, el futuro mapa de estado, ilustra la incorporación de estas modificaciones. Como se ve, los cambios reducen el tiempo de espera de producción a 50.89 días, reducción de 23%. La situación de la producción mejoraría aún más si se incorporaran sistemas de demanda en varios lugares.

Problema resuelto 2

Un hospital local quiere instalar un sistema kanban para manejar el suministro de sangre con el banco de sangre regional. Este último entrega la sangre al hospital todos los días, siempre y cuando el pedido se haga con un día de anticipación (un pedido hecho hoy a las 6 p.m. se entrega mañana por la tarde). Internamente, el grupo de compras del hospital hace los pedidos de sangre todos los días a las 5 p.m. La sangre se mide en pintas y se envía en contenedores de seis pintas. Para un tipo de sangre en particular, el hospital usa un promedio de 12 pintas al día. Debido a la naturaleza crítica de una escasez de sangre, el hospital quiere manejar un inventario de seguridad con el suministro esperado para dos días. ¿Cuántos grupos de tarjetas kanban debe preparar el hospital?

Solución

Este problema ilustra cómo debe ser la aplicación real. Con los datos proporcionados, las variables de este problema son las siguientes:

[9] K. A. Rosentrater y R. Balamuralikrishna, *Value Steam Mapping—A Tool for Engineering and Technology Education and Practice*, ASEE Illinois-Indiana Sectional Conference, Fort Wayne, Indiana, American Society for Engineering Education, presentado el 1 de abril de 2006.

ILUSTRACIÓN 13.12 Mapa de estado actual para el ejemplo de manufactura de pernos.

ILUSTRACIÓN 13.13 Cambios potenciales en proceso para el ejemplo de manufactura de pernos.

Control de producción
Orden semanal
Semanal
Orden semanal
Supervisor de producción
Diario
Proveedor de acero
2x semanal
Rollos de 500 pies 5 días
Punzonado
TC = 0.75 s
Preparación = 6 h
1
38 400 piezas
480 pies
Combinar rebaje y limpieza
3 360 piezas
2 880 piezas
366 pies
Tratar con ácido
TC = 0.02 s
Preparación = 0 h
1
4 500 piezas
180 pies
Modificar endurecido
Cementar e inducción
TC = 2.7 s
Preparación = 0 h
1
5 días
0.75 s
25.6 días
8.57 s
2.24 días
10 s
1.92 días
0.02 s
3 días
2.7 s
1 066 piezas
165 pies
Eliminar enrollado
1 243 piezas
351 pies
Fosforado y aceite
TC = 0.02 s
Preparación = 0 h
1
1 243 piezas
351 pies
Hacer cuerda
TC = 0.857 s
Preparación = 2 h
1
4 500 piezas
249 pies
Laboratorio de metrología
TC = 0.02 s
Preparación = 0 h
1
6 000 piezas
210 pies
Eliminar recepción
1 450 piezas
492 pies
0.857 s
0.83 días
0.02 s
0.83 días
0.857 s
3 días
0.02 s
4 días
0.01 s
0.71 días
Eliminar clasificación
7 500 piezas
345 pies
Eliminar rociado con sal
4 500 piezas
90 pies
Doc final
TC = 0.02 s
Preparación = 0 h
1
4 500 piezas
0 pies
Certificación química y física
TC = 0.02 s
Preparación = 0 h
1
3 000 piezas
345 pies
Etiquetar y enviar
TC = 0.02 s
Preparación = 0 h
1
7 500 piezas
1x semanal
Cliente
0.97 días
5 s
5 días
0.02 s
3 días
0.02 s
3 días
0.02 s
2 días
0.02 s
5 días

Tiempo de espera en producción 66.1 días	Anual = 360 000
Tiempo de procesamiento 28.88 s	Mensual = 30 000
	Semanal = 7 500
	Diario = 1 500
	Tamaño de lote = 3 500

ILUSTRACIÓN 13.14 Mapa de estado futuro para ejemplo de manufactura de pernos.

Control de producción
Orden semanal
Semanal
Orden semanal
Supervisor de producción
Proveedor de acero
2x semanal
Diario
Rollos de 500 pies 5 días
Punzonado
TC = 0.75 s
Preparación = 6 h
1
38 400 piezas
480 pies
Control numérico por computadora (CNC)
TC = 10 s
Preparación = 0 h
1
2 880 piezas
200 pies
Tratar con ácido
TC = 0.02 s
Preparación = 0 h
1
4 500 piezas
180 pies
Cementar e inducción
TC = 1 s
Preparación = 0 h
1
5 días
0.75 s
25.6 días
10 s
1.92 días
0.02 s
3 días
1 s
1 00 pies
Fosforado y aceite
TC = 0.02 s
Preparación = 0 h
1
1 243 piezas
351 pies
Hacer cuerda
TC = 0.857 s
Preparación = 2 h
1
4 500 piezas
249 pies
Laboratorio de metrología
TC = 0.02 s
Preparación = 0 h
1
1 066 piezas
0.02 s
0.83 días
0.857 s
3 días
0.02 s
0.71 días
200 pies
1 243 piezas
Doc final
TC = 0.02 s
Preparación = 0 h
1
4 500 piezas
0 pies
Certificación química y física
TC = 0.02 s
Preparación = 0 h
1
3 000 piezas
345 pies
Etiquetar y enviar
TC = 0.02 s
Preparación = 0 h
1
7 500 piezas
1x semanal
Cliente
0.83 días
0.02 s
3 días
0.02 s
2 días
0.02 s
5 días

Tiempo de espera en producción 50.89 días
Tiempo de procesamiento 12.73 s

Anual = 360 000
Mensual = 30 000
Semanal = 7 500
Diario = 1 500
Tamaño de lote = 3 500

D = 12 pintas al día (demanda promedio)
L = un día (tiempo de entrega)
S = 200% (inventario de seguridad, como fracción es de 2.0)
C = 6 pintas (tamaño del contenedor)

$$k = \frac{DL(1 + S)}{C} = \frac{12(1 + 2)}{6} = 6$$

Esto indica que es necesario preparar seis grupos de tarjetas kanban. Cada vez que se abra un nuevo contenedor de sangre (con seis pintas), la tarjeta se va a enviar a compras y se van a pedir otras seis pintas de sangre. Al recibir la sangre, la tarjeta se va a pegar en el nuevo contenedor y este se llevará al área de almacenamiento.

Preguntas de repaso y análisis

1. ¿Es posible lograr inventarios de cero? ¿Por qué?
2. Eliminar el desperdicio es una parte vital de la producción esbelta. Con el mapa de flujo de valor, identifique algunas fuentes de desperdicio en su casa o dormitorio y analice cómo eliminarlas.
3. ¿Por qué la producción esbelta debe tener una programación estable?
4. ¿La producción esbelta funciona en los ambientes de servicio? ¿Por qué?
5. Analice las formas de utilizar la producción esbelta para mejorar uno de los negocios siguientes: una pizzería, un hospital o una distribuidora de automóviles.
6. ¿Qué podría objetar un gerente de mercadotecnia para uniformar la carga de la planta?
7. ¿Cuáles son las implicaciones de la producción esbelta en la contabilidad de costos?
8. ¿Cuál es el papel de los proveedores y clientes en un sistema esbelto?
9. Explique cómo se utilizan las tarjetas en un sistema kanban.
10. ¿En qué aspectos, si acaso, los sistemas siguientes son análogos al sistema kanban: devolver las botellas vacías al supermercado y recoger otras llenas; manejar un puesto de hot-dogs a la hora del almuerzo; retirar dinero de una cuenta de cheques; recoger las hojas de los árboles en bolsas?
11. ¿Por qué es difícil aplicar en la práctica la producción esbelta?
12. Explique la relación entre calidad y productividad según la filosofía esbelta.
13. ¿Cómo mostraría un sistema de demanda en símbolos de VSM entre el punzonado y las etapas de control numérico por computadora del problema resuelto de manufactura de pernos?

Problemas

1. Un proveedor de cajas para medidores controla el flujo de material mediante un sistema kanban. Las cajas para medidores se transportan de cinco en cinco. Un centro de fabricación produce más o menos 10 medidores por hora y tarda alrededor de dos horas en cambiar la caja. Debido a las variaciones en los tiempos de procesamiento, la gerencia decidió mantener 20% del inventario necesario como inventario de seguridad. ¿Cuántos grupos de tarjetas kanban necesita?
2. Las transmisiones se entregan en la línea de fabricación en grupos de cuatro y tardan una hora en llegar. Cada hora se producen alrededor de cuatro vehículos y la gerencia decidió mantener como inventario de seguridad 50% de la demanda esperada. ¿Cuántos grupos de tarjetas kanban necesita?
3. Una embotelladora llena 2 400 botellas cada dos horas. El tiempo de entrega es de 40 minutos y en un contenedor caben 120 botellas. El inventario de seguridad es 10% de la demanda esperada. ¿Cuántas tarjetas kanban se necesitan?
4. Consulte el ejemplo 13.1 como base para este problema. Arvin Meritor contrata a un equipo de asesores, quienes le sugieren una automatización robótica parcial así como un incremento en el inventario de seguridad a 0.125. Arvin Automotive pone en práctica estas sugerencias, y el resultado es un aumento de la eficiencia tanto en la fabricación de silenciadores como en la producción de convertidores catalíticos. Hoy en día, la celda de fabricación de silenciadores produce un promedio de 16 ensambles por hora y el tiempo de entrega bajó a dos horas por lote de 10 convertidores catalíticos. ¿Cuántas tarjetas kanban se necesitan actualmente?
5. Arvin Meritor está tan satisfecho con el resultado de las sugerencias anteriores que invita a los asesores una vez más. Ahora ellos sugieren una automatización robótica más completa en la fabricación de silenciadores, así como una reducción en el tamaño de los contenedores a ocho por cada uno. Arvin Meritor aplica estas sugerencias y el resultado es que ahora la celda de fabricación de ensambles es de un promedio de 32 ensambles por hora y la celda de convertidores catalíticos responde a un

pedido por lote en una hora. El inventario de seguridad es aún de 0.125. ¿Cuántas tarjetas kanban se necesitan?

6. Un fabricante de pulseras de piel de alto nivel controla el flujo del material mediante un sistema kanban. Las pulseras se transportan en grupos de 12. Una operación de corte produce, en promedio, más o menos 200 pulseras por hora. La reposición de los juegos de anillos tarda una hora. Debido a las variaciones en los tiempos de procesamiento con base en el tamaño y la longitud de las pulseras, se decidió mantener 25% del inventario necesario como inventario de seguridad. ¿Cuántos grupos de tarjetas kanban se necesitan?
7. Suponga que un interruptor se ensambla en lotes de cuatro unidades de un área de ensamble "anterior" y se entregan en un contenedor especial en una operación de ensamble de panel de control "posterior". El área de ensamblado de panel de control requiere cinco interruptores por hora. El área de ensamble de los interruptores produce un contenedor en dos horas y el inventario de seguridad es de 10% del inventario necesario.

CASO: QUALITY PARTS COMPANY

Quality Parts Company suministra accesorios a un fabricante de computadoras localizado a unas millas de distancia. La compañía produce dos modelos de accesorios en corridas que van de 100 a 300 unidades.

El flujo de producción de los modelos X y Y se muestra en la ilustración 13.15. El modelo Z requiere del fresado como primer paso, pero por lo demás sigue el mismo patrón de flujo que X y Y. Los carros transportan hasta 20 accesorios a la vez. La ilustración 13.16 muestra los tiempos aproximados por unidad por número de operación y los tiempos de preparación del equipo.

La demanda de accesorios por parte de la compañía de computadoras varía entre 125 y 175 al mes, divididos equitativamente entre X, Y y Z. El subensamble recolecta el inventario a principios de mes para tener la certeza de contar siempre con un inventario de seguridad. La materia prima y las piezas compradas para los subensambles constituyen 40% del costo de manufactura de un accesorio. Ambas categorías de piezas provienen de alrededor de 80 proveedores y se entregan en tiempos aleatorios (los accesorios tienen 40 números de piezas).

Los índices de desperdicio son más o menos de 10% en cada operación, el inventario rota dos veces al año, a los empleados se les paga por día, la rotación de personal es de 25% anual y las utilidades netas de las operaciones son continuas de 5% cada año. El mantenimiento se lleva a cabo conforme se necesita.

La gerente de Quality Parts Company contempla la posibilidad de instalar un sistema de pedidos automático para ayudar a controlar los inventarios y "mantener los carros llenos" (considera que dos días de trabajo frente a una estación de trabajo motivan al obrero a producir a máxima velocidad). Además, la gerente planea agregar tres inspectores para eliminar el problema de la calidad y piensa en instalar una línea para acelerar las reparaciones. Aunque está satisfecha con el uso de la mayor parte del equipo y la mano de obra, le preocupa el tiempo en que la fresadora permanece inactiva. Por último, la gerente pidió al departamento de ingeniería industrial que considere la posibilidad de un anaquel alto para almacenar las piezas que salen de la máquina 4.

Preguntas

1. ¿Cuáles de los cambios que considera la gerente de Quality Parts Company corresponden a la filosofía esbelta?
2. Haga algunas recomendaciones para mejoras esbeltas en áreas como programación, distribución, kanban, agrupación de tareas e inventario. Utilice la información cuantitativa y haga las suposiciones necesarias.
3. Elabore un boceto de la operación de un sistema para tomar las piezas en el sistema actual de Quality Parts Company.
4. Elabore un plan para introducir la producción esbelta en Quality Parts Company.

CASO: MÉTODO PARA TRAZAR EL MAPA DE FLUJO DE VALOR

El mapa de flujo de valor comprende en primer lugar la creación de un esquema básico de la situación actual de las operaciones internas y/o externas de una compañía y luego la aplicación de los conceptos esbeltos para generar un esquema del estado futuro que muestre las operaciones mejoradas. Por ejemplo, la ilustración 13.17 muestra el estado actual con un tiempo de producción de 4.5 días. Este sistema de producción se basa en empujar los lotes (indicados por las flechas a rayas), lo que da como resultado demoras muy largas y acumulación del inventario. La ilustración 13.18 muestra el esquema del estado futuro con un tiempo de producción de 0.25 días. Este se logró al cambiar a un sistema de demanda de flujo continuo y eliminar los siete desperdicios. El mapa de flujo de valor utiliza varios íconos especiales y un formato de cuadros y flujos. Para un análisis más completo de la metodología, vea Jared Lovelle.[10]

[10] J. Lovelle, "Mapping the Value Stream", *IIE Solutions* 33, núm. 2, febrero de 2001, pp. 26-33.

ILUSTRACIÓN 13.15 Flujo de producción de accesorios.

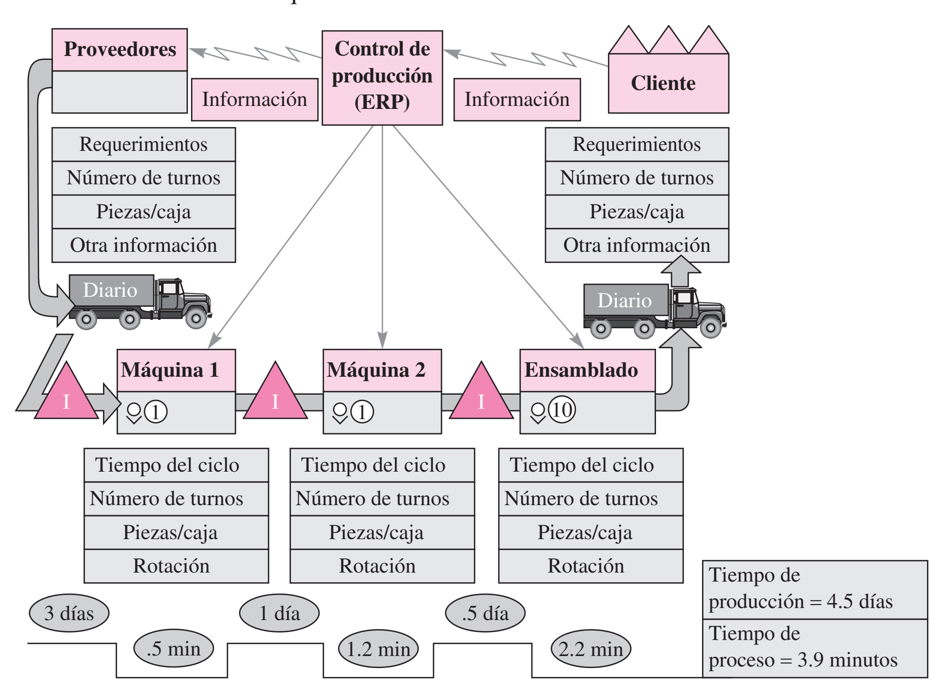
ILUSTRACIÓN 13.16 Operaciones y tiempo de preparación.

Número y nombre de la operación	Tiempo de operación (minutos)	Tiempo de preparación (minutos)
Esmerilado del modelo Z	20	60
1 Torno	50	30
2 Taladro modelo 14	15	5
3 Taladro modelo 14	40	5
4 Ensamblado paso 1	50	
Ensamblado paso 2	45	
Ensamblado paso 3	50	
5 Inspección	30	
6 Pintura	30	20
7 Horno	50	
8 Empaque	5	

Preguntas

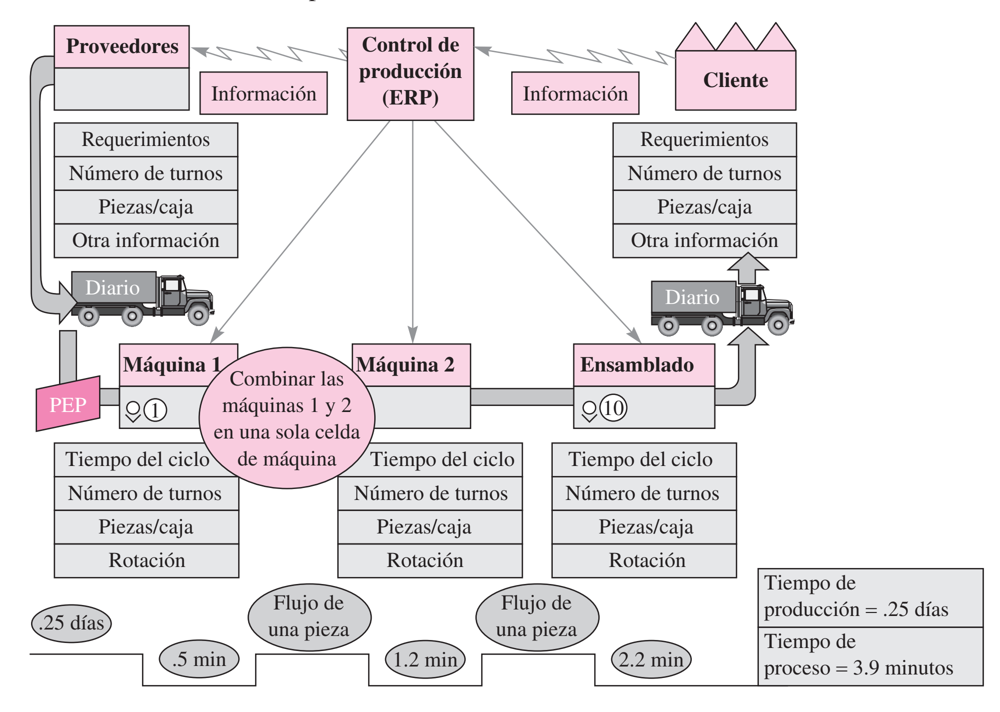
1. Eliminar la fila de espera acorta en gran medida el tiempo que una pieza tarda en fluir por todo el sistema. ¿Cuáles son las desventajas de eliminar esas filas de espera?
2. ¿Cómo cree que los operadores de las máquinas van a reaccionar ante el cambio?
3. ¿Cómo se aseguraría de que los operadores se mantendrán ocupados?

ILUSTRACIÓN 13.17 Esquema del estado actual.



Fuente: Jared Lovelle, "Mapping the Value Stream", *IIE Solutions* 33, núm. 2, febrero de 2001, p. 32.

ILUSTRACIÓN 13.18 Mapa del estado futuro.



Fuente: Jared Lovelle, "Mapping the Value Stream", *IIE Solutions* 33, núm. 2, febrero de 2001, p. 30.

Caso: Pro Fishing Boats. Ejercicio de mapa de flujo de valor

Un fabricante de botes de pesca, Pro Fishing Boats, tiene muchos problemas con piezas de importancia crítica que importa de varias partes del mundo. Pro Fishing tiene dos plantas manufactureras en Estados Unidos. La dependencia de esta compañía en operaciones esbeltas en cadenas de suministro globales es creciente a medida que este fabricante compra más y más piezas del extranjero, inclusive componentes críticos. Recientes problemas con varias de estas piezas críticas causaron suspensiones temporales de actividades. En respuesta a esto, Pro Fishing *impuso* un inventario de seis semanas de todas las piezas adquiridas globalmente. La administración le pidió a usted que evalúe si es una decisión correcta.

Primero debe usted entender la cadena de suministro de Pro Fishing. En la actualidad hay muy poca visibilidad (conocimiento del estado actual) del inventario en la cadena de suministro, y la comunicación con la base de suministro es mínima. De hecho, el fabricante de botes no tiene *ninguna* visibilidad fuera de los proveedores del Muelle I. Para complicar el problema, distintos departamentos de la empresa manejan una pieza distinta de la cadena de suministro.

Para entender la cadena de suministro, Pro Fishing le solicitó que elabore un esquema de su cadena de suministro. Para hacerlo, la compañía identificó un componente de importancia crítica para seguir en la cadena de suministro. Después de tener la oportunidad de entrevistar a los participantes de la cadena de suministro, incluso proveedores, usted recopiló la siguiente información.

El componente se manufactura en China por el proveedor del Muelle I, Manufacturing Inc. El programa de producción de Manufacturing Inc. se basa en pedidos (órdenes) enviados por fax desde el almacén de Pro Fishing. El proveedor opera con un pronóstico de 90-60-30 días con un pedido semanal. Al completar el componente, Manufacturing Inc. lo envía por camión al puerto de Shanghai, donde se carga en un barco con dirección a Estados Unidos. La carga en el puerto tarda una semana, y el transporte en camión, tres días. Manufacturing Inc. lleva a mano un inventario intermedio de nueve semanas de artículos terminados. El tiempo de manufactura de cada componente es de solo unos tres días. El barco con destino a Estados Unidos tarda alrededor de 14 días de navegación. A su llegada a Estados Unidos, el componente se descarga en el puerto de Los Ángeles. Esto implica unos cinco días con inspecciones de aduana en Los Ángeles. Los artículos viajan en tren a Chicago, lo cual tarda unos siete días. Los bienes se llevan a mano en Chicago durante alrededor de media semana. De ahí, el componente se envía en camión a un almacén de Pro Fishing donde se estableció un inventario intermedio de seis semanas por obligación. El envío al almacén de Pro Fishing tarda dos días. Del almacén, los componentes se envían en camión a plantas en Estados Unidos según órdenes electrónicas provenientes de cada una de las plantas de Pro Fishing.

Al hablar con Manufacturing Inc., Pro Fishing se enteró de que su componente consta de dos materias primas principales: una de China y la otra de Estados Unidos. Para evitar el riesgo de que se agoten estas materias primas, Manufacturing Inc. mantiene un inventario intermedio de cuatro semanas de las materias primas chinas y otro de 12 semanas de materia prima de Estados Unidos. Estas órdenes del proveedor Muelle II son solo por compra formal. Es interesante observar que Manufacturing Inc. usa estos proveedores para satisfacer estrictos requisitos de calificación de proveedor de Pro Fishing.

Preguntas

1. Genere un mapa de flujo de valor (VSM) de esta cadena de suministro. ¿Qué otra información es necesaria?
2. ¿En dónde hay riesgo de ruptura de la cadena de suministro o paros para la cadena de valor?
3. ¿Dónde hay oportunidades de mejorar las operaciones de la cadena de suministro y cómo contribuyó el VSM para descubrirlas?

Cuestionario

1. Cualquier cosa que no agregue valor desde la perspectiva del cliente.
2. Conjunto integrado de actividades diseñado para obtener producción mediante inventarios mínimos de materias primas, trabajo en proceso y artículos terminados.
3. El sistema de producción de Toyota se basa en estas dos filosofías.
4. Conjunto de actividades que agregan y que no agregan valor requerido para diseñar, ordenar y obtener un producto desde su concepto hasta su lanzamiento, ordenar para entrega y materias primas a clientes.
5. Filosofía japonesa que se concentra en la mejora continua.
6. Filosofía en la que piezas similares se compran juntas en familias con fines de producción.
7. Significa solo producir lo necesario cuando es necesario y nada más.
8. Periodo durante el cual no se puede cambiar un programa de producción.
9. Producir una mezcla de productos igual a la demanda tanto como sea posible.
10. Sistema de control de producción que regula el flujo de material mediante un dispositivo de señalización.
11. Si el tiempo de entrega de un artículo es exactamente cinco días, la demanda es una constante de cuatro unidades por día y el contenedor del envío contiene dos unidades, ¿cuántos juegos de tarjetas kanban serían necesarios?
12. Una empresa desea justificar económicamente lotes más pequeños. La administración sabe que no puede cambiar el costo de llevar una unidad en inventario porque este se basa principalmente en el valor del artículo. Para justificar lotes más pequeños, ¿qué debe hacerse?

1. Desperdicio 2. Producción esbelta 3. Eliminación de desperdicio y respeto por la gente 4. Cadena de valor 5. Kaizen 6. Tecnología de grupo 7. Producción JIT (justo a tiempo) 8. Congelación de ventana 9. Carga uniforme de la planta 10. Kanban 11. Juegos de 10 tarjetas 12. Reducir costo de preparación

Bibliografía seleccionada

Allen, M., "Picture-Perfect Manufacturing (Using Value Stream Mapping)", *Modern Machine Shop Magazine Online*, agosto de 2004.

George, M. L., *Lean Six Sigma,* Nueva York, McGraw-Hill, 2002.

Gross, J. M. y K. R. McInnis, *Kanban Made Simple: Demystifying and Applying Toyota's Legendary Manufacturing Process*, Nueva York, AMACOM, 2003.

Monden, Y., *Toyota Production System: An Integrated Approach to Just-in-Time,* Atlanta, Georgia, Institute of Industrial Engineers, 1998.

Phelps, T., M. Smith y T. Hoenes, "Building Lean Supply Chain", *Manufacturing Engineering* 132, núm. 5, mayo de 2004, pp. 107-113.

Womack, J. P. y D. T. Jones, *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation,* Nueva York, Simon & Schuster, 1996.

Womack, J. P., D. T. Jones y D. Roos, *The Machine That Changed the World,* Nueva York, R.A. Rawston Associates, 1990.

Capítulo 13A

CONSULTA Y REINGENIERÍA DE OPERACIONES

Después de leer este capítulo, usted:

1. Conocerá el ámbito de la consulta de operaciones.
2. Entenderá cómo ganan dinero las empresas de consultoría.
3. Tendrá un marco para el proceso de consultoría de operaciones.
4. Describirá las herramientas básicas que utilizan los consultores de operaciones.
5. Conocerá la reingeniería de un proceso de negocios y los principios de reingeniería.

Pittiglio Rabin Todd and McGrath (PRTM). Una consultora de operaciones líder

Los diseños de una buena estrategia de negocios cambian según a donde se dirija una empresa. Una estrategia operacional ganadora traduce esa dirección en una realidad operacional, y al hacerlo crea una ventaja estratégica competitiva. PRTM es una compañía líder que se especializa en encontrar formas de estructurar las operaciones de negocios con el fin de generar resultados innovadores en crecimiento, ganancias y valuación de primera línea.

Los actuales directores ejecutivos de operaciones comprenden que las estrategias de negocios y las estrategias operacionales brillantes están interconectadas. Las estrategias de negocios inducen la necesidad de nuevas habilidades operacionales, y la evolución de las habilidades operacionales modela las futuras estrategias de negocios. PRTM Consultants se concentra en seis ingredientes esenciales de la estrategia operacional:

- **Transformar las fuerzas del mercado en una ventaja operacional.** Con esta clase de percepción Black and Decker convirtió un requerimiento de regulación para las herramientas eléctricas de doble aislamiento en una nueva plataforma modular de productos que redefinió el costo y el desempeño en una categoría tras otra. En el mismo tipo de percepción se apoyó Progresive Insurance para transformar los reclamos de vehículos, una parte improductiva de su estructura de costos, en una fuente de ventaja competitiva mucho más económica y valiosa.
- **Hacer una cosa extraordinariamente bien.** Considere el caso de Apple iTunes. Su participación de 73% del mercado de reproductoras musicales digitales está impulsada por la inflexible búsqueda de Apple en la facilidad de utilización como base para competir. Las compañías como Walmart aspiran todas al liderazgo de costos, con el costo operacional más bajo de un extremo a otro y el nivel más elevado de productividad.
- **Pensar de un extremo a otro, continuamente, en el tiempo real y horizontalmente.** Toda organización tiene una serie de ámbitos operacionales fundamentales que constituye su modelo operacional; en su mayor parte, incluye alguna combinación de la cadena de desarrollo del producto, la cadena de suministro y la cadena del cliente. La estrategia operacional configura esos ámbitos operacionales para que correspondan a la estrategia de negocios y crear una ventaja competitiva por derecho propio.
- **Pensar y ejecutar en el nivel global.** En vista de los mercados globales para los productos y la disponibilidad global de la oferta, muchas empresas necesitan considerar estrategias que posicionen mejor a la empresa para competir en ese terreno. Las oportunidades globales a menudo son el impulsor primario de los cambios en las estrategias tanto de negocios como operacionales.

Fuente: Adaptado de una declaración de Tom Godward y Mark Deck, socios de PRTM Worldwide Operational Strategy Practice, www.prtm.com.

- **Impulsar la innovación en sus operaciones y en su modelo de negocios.** Peter Drucker definió la innovación como un cambio que crea una nueva dimensión del desempeño. También declaró que una responsabilidad básica del director ejecutivo es la innovación. Con demasiada frecuencia, la innovación se percibe como actividad técnica u orientada al producto. La realidad es que actualmente la innovación operacional crea a los grandes líderes.
- **Ejecutar en forma inflexible.** Una estrategia operacional completa requiere un compromiso con su ejecución. Las empresas con ventajas importantes en sus mercados ejecutan su estrategia en forma inflexible, conscientes de la percepción de su mercado global, alineadas con un enfoque competitivo singular, motivadas por un propósito de innovación claro y guiadas por un sólido modelo operacional alineado con la estrategia de negocios y la economía de negocios.

En el siglo XXI, las empresas que transforman todos los aspectos de sus operaciones en una fuente de innovación estratégica dominarán en sus mercados para producir un crecimiento de ingresos, desempeño de las ganancias y rendimientos para los accionistas sin paralelo.

La consultoría de operaciones es ya una de las principales áreas de empleo para los egresados de las disciplinas de administración de empresas. La página anterior del sitio de PRTM en internet resume muy bien la importancia de las operaciones en el desempeño básico. En este capítulo se aborda lo que se debe hacer en la consultoría de operaciones, así como la naturaleza del negocio de consultoría en general. También se presentan las herramientas y técnicas de la consultoría de operaciones, así como las generalidades de la reingeniería del proceso de negocios, pues gran parte de la consultoría de AOCS está vinculada a esta actividad.

¿Qué es la consultoría de operaciones?

Consultoría de operaciones

El propósito de la **consultoría de operaciones** es ayudar a los clientes a crear estrategias de operaciones y mejorar los procesos de producción. Al elaborar la estrategia, el enfoque consiste en analizar las capacidades de las operaciones en vista de la estrategia competitiva de la empresa. A manera de ejemplo, Treacy y Wiersema sugieren que el liderazgo del mercado se logra en una de tres formas: con el liderazgo del producto, excelencia operacional o acercamiento con el cliente.[1] Cada una de esas estrategias puede requerir diferentes habilidades y enfoques operacionales. El consultor de operaciones debe ser capaz de ayudar a la gerencia a comprender esas diferencias y de definir la combinación más eficaz de tecnología y sistemas para ejecutar la estrategia. En la mejora del proceso, el enfoque consiste en el empleo de herramientas y métodos analíticos para que los administradores de operaciones mejoren el desempeño de sus departamentos. Deloitte & Touche Consulting ofrece la siguiente lista de las acciones para mejorar los procesos: refinar/revisar procesos, revisar actividades, reconfigurar flujos, revisar políticas/procedimientos, cambiar la producción y realinear la estructura. Más adelante se hablará más acerca de los aspectos de la estrategia y de las herramientas. Sin importar el enfoque, *una labor eficaz de consultoría de operaciones da por resultado una alineación entre la estrategia y las dimensiones del proceso que mejoran el desempeño de negocios del cliente*.

Industria de consultoría administrativa

La industria de la consultoría administrativa se categoriza en tres formas: por volumen, por especialización y por consultores internos y externos. La mayoría de las empresas de consultoría son pequeñas y generan menos de 1 millón de dólares en facturas anuales.[2] Respecto de la especialización, aunque todas las grandes empresas proporcionan diversos servicios, también se pueden especializar por función, como administración de operaciones, o por industria, como manufactura. La mayoría de las grandes compañías de consultoría se basa en la tecnología de

[1] M. Treacy y F. Wiersema, "Value Disciplines", *12Manage.com,* 2009.
[2] Hoovers.com, sitio de internet de Consulting Industry Financials, 10 de septiembre de 2009.

la información (TI) y labores de contabilidad. La tercera base para la segmentación, consultores internos *versus* externos, contempla si una compañía cuenta con su propia organización de consultoría o si compra externamente los servicios de consultoría. Collis observa que los departamentos de consultoría internos son comunes en las empresas grandes y que a menudo están afiliados con los departamentos de planeación.[3]

Las empresas de consultoría con frecuencia también se distinguen porque su capacidad principal es la planeación estratégica o el análisis táctico y la implantación. McKinsey and Co. y Boston Consulting Group son ejemplos estándar de compañías de tipo estrategia, mientras que Gemini Consulting y A.T. Kearney se enfocan en forma muy extensa en proyectos tácticos y de implantación. Las grandes empresas contables y Accenture son conocidas por proporcionar una extensa gama de servicios. Los nuevos jugadores principales en el negocio de consultoría son las grandes empresas de tecnología de la información, como Infosys Technology, Computer Sciences Corporation (CSC), Electronic Data Systems (EDS) e IBM. Las consultorías enfrentan problemas similares a los de sus clientes: la necesidad de proporcionar una presencia global, de procesar información para coordinar las actividades y la necesidad de contratar y capacitar continuamente a sus trabajadores. Esto provoca que las empresas de consultoría se encuentren ante la difícil disyuntiva de ser muy grandes o ser pequeñas empresas especializadas. Si se quedan en un área intermedia se crean problemas de falta de economías de escala, por una parte, y por otra, de falta de enfoque y flexibilidad.

La jerarquía de la empresa de consultoría común se ve como una pirámide. En la parte superior están los socios o seniors, cuya función primordial es la de ventas y relaciones con el cliente. A la mitad están los administradores, que se encargan de operar los proyectos o "contrataciones" de consultoría. En la parte inferior están los juniors, que desempeñan el trabajo de consultoría como parte de un equipo de consultoría. Hay escalonamientos en los rangos dentro de cada categoría (como socios senior). En lenguaje familiar, a menudo se hace referencia a esas categorías como **"buscadores"** (de nuevos negocios), **"cuidadores"** (o administradores) de los equipos de proyectos y **"machacadores"** (los consultores que desempeñan el trabajo). Las empresas de consultoría por lo general trabajan en equipos por proyecto, seleccionados según las necesidades del cliente y las preferencias de los administradores del proyecto, y por los mismos consultores de primera línea. Una estrategia importante en la carrera de la mayoría de los consultores junior es lograr que los asignen a proyectos importantes de alta visibilidad, con buenos compañeros de trabajo. Es decisivo estar en demanda para una membresía en el equipo y obtener experiencia de consultoría de calidad para destacar en el largo plazo en una empresa de consultoría (o ser atractivo para otra empresa dentro o fuera de la consultoría).

"Buscadores"
"Cuidadores"
"Machacadores"

Economía de las empresas de consultoría

David H. Maister ha escrito mucho acerca de las empresas de consultoría. En su artículo clásico, "Balancing the Professional Service Firm", se basa en la analogía de la empresa de trabajo como un taller, en donde se debe asignar correctamente la clase apropiada de "máquinas" (personal profesional) a la clase de actividad adecuada (proyectos de consultoría).[4] Como en todo taller, son críticos el grado de ajuste del trabajo según las necesidades y la complejidad del asistente. Los proyectos más complejos, que Maister llama proyectos de *cirugía del cerebro*, requieren innovación y creatividad. Después vienen los proyectos de *cabello canoso*, que requieren mucha experiencia pero no tanto esfuerzo de innovación. Un tercer tipo de proyecto es el de *procedimientos*, en el cual se conoce bien la naturaleza general del problema y las actividades necesarias para completarlo se asemejan a las que se desempeñan en otros proyectos.

Como las empresas de consultoría por lo común son sociedades, la meta es maximizar las utilidades para los socios. Esto a su vez se logra al apalancar las capacidades de los socios mediante el aprovechamiento eficaz de consultores de nivel medio y junior. A menudo esto se

[3] D. J. Collis, "The Management Consulting Industry", *Internet Class Notes*, Harvard Business School, 1996.
[4] D. H. Maister, "Balancing the Professional Service Firm", *Sloan Management Review* 24, núm. 1, otoño de 1982, pp. 15-29.

presenta como una razón entre socios con consultores de nivel medio y junior para el proyecto promedio (en la ilustración 13A.1 se presenta un ejemplo numérico de la forma de calcular la rentabilidad para una empresa de consultoría hipotética, Guru Associates). Debido a que la mayoría de las empresas de consultoría se dedica al mismo tiempo a múltiples proyectos, el porcentaje de horas/empleado facturables asignado a todos los proyectos (utilización meta) será menor de 100%. Una práctica que se especializa en un trabajo de vanguardia para un cliente de riesgo elevado (cirugía del cerebro) debe contar con un personal con una razón elevada entre socio y junior, pues el personal de nivel inferior no podrá entregar la calidad de servicios requerida. En contraste, las prácticas que abordan un trabajo de más procedimiento y menor riesgo serían ineficientes si no cuentan con una razón más baja entre socios y junior porque el personal de costo más elevado no debería desempeñar trabajos de un valor más bajo.

El método más común para mejorar la eficiencia es la utilización de enfoques uniformes en cada aspecto de un trabajo de consultoría. Accenture, la compañía más famosa por este enfoque, envía a sus consultores nuevos a un campamento de capacitación en sus instalaciones de capacitación en St. Charles, Illinois, donde proporciona métodos muy refinados y estandarizados para labores de operaciones comunes, como diseño de sistemas, reingeniería de procesos y mejoramiento continuo, y para la administración de proyectos y procedimientos de reportes mediante los cuales se llevan a cabo. Por supuesto, otras empresas grandes de consultoría tienen sus propios métodos de capacitación y procedimientos paso a paso para la venta, diseño y ejecución de proyectos de consultoría.

Cuándo se necesitan operaciones de consultoría

A continuación se presentan algunas de las principales áreas estratégicas y tácticas en donde las empresas suelen buscar una consultoría de operaciones. Si primero se ven las áreas de consultoría fabril (agrupadas en lo que se puede llamar *las 5 P de la producción*), se tiene:

- *Planta*: añadir y ubicar nuevas plantas; ampliar, reducir o reenfocar las instalaciones existentes.
- *Personas*: mejora de la calidad, determinar/revisar estándares laborales, analizar la curva de aprendizaje.
- *Partes*: decisiones de fabricar o comprar, decisiones de selección del vendedor.

ILUSTRACIÓN 13A.1 Economía de Guru Associates.

Nivel	Núm.	Utilización meta	Meta de 2 000 horas facturables por persona por año	Índice de facturación	Honorarios	Salario por individuo	Salarios totales
Socio (senior)	4	75%	6 000	$200	$1 200 000	(vea los siguientes cálculos)	
Medio	8	75%	12 000	$100	$1 200 000	$75 000	$600 000
Junior	20	90%	36 000	$ 50	$1 800 000	$32 000	$640 000
Totales					$4 200 000		$1 240 000

Honorarios	$4 200 000
Salarios	(1 240 000)
Contribuciones	$2 960 000
Gastos generales*	$1 280 000
Utilidades de los socios	$1 680 000
Por socio	$ 420 000

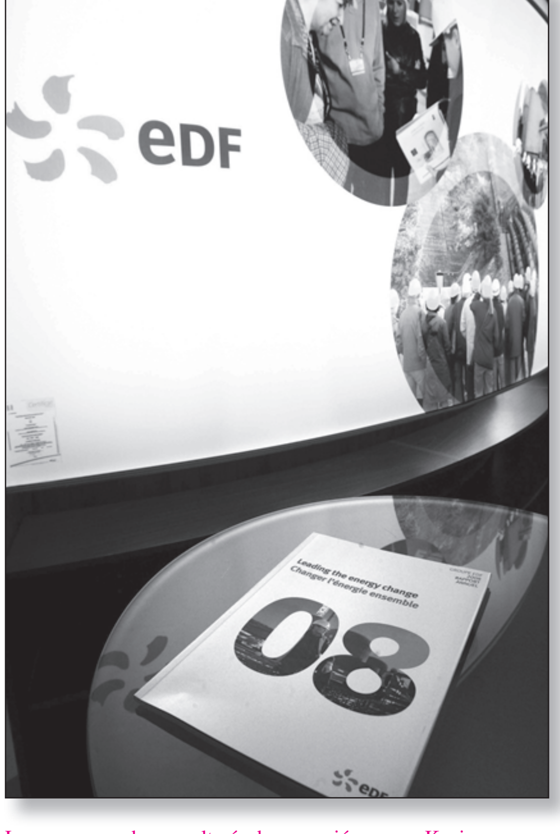
* Si se suponen costos de gastos generales de $40 000 por profesional.

Fuente: D. H. Maister, *Managing the Professional Service Firm*, Nueva York, The Free Press, 1993, p. 11. Copyright 1993 por Sloan Management Review Association. Todos los derechos reservados.

- *Procesos*: evaluación de la tecnología, mejora del proceso, reingeniería.
- *Planeación y sistemas de control*: administración de la cadena de suministro, PRE, MRP, control del taller, almacenamiento, distribución.

Obviamente, muchos de estos aspectos están interrelacionados y requieren soluciones de todo el sistema. Algunos ejemplos de temas comunes que reflejan esto son el desarrollo de la estrategia de fabricación; diseño e implantación de sistemas justo a tiempo; implantación de un software de MRP o ERP patentado como SAP; e integración de sistemas que impliquen una tecnología de cliente y servidor. Las preguntas habituales que se abordan son: "¿Cómo puede reducir el cliente los tiempos de espera? ¿Cómo se puede reducir el inventario? ¿Cómo se puede mantener un mejor control en la planta?" Entre las áreas urgentes de la consultoría de la estrategia fabril están el desarrollo del enfoque en la fábrica, recurrir a la subcontratación, administrar la cadena de suministro y redes de fabricación global. En el nivel táctico hay un vasto mercado para la consultoría en *e-operations*, desarrollo del producto, certificación de calidad ISO 9000, y diseño e implantación de sistemas descentralizados de control de producción.

De regreso a los servicios, aunque las empresas de consultoría en manufactura pueden tener diversas especialidades en industrias del proceso, por una parte, y por otra, en ensamble o fabricación discreta del producto, la consultoría de operaciones de servicio por lo general pone un fuerte acento en la industria o en el sector. Una cartera común de consultoría de especialidades en servicios (y áreas de necesidad de consultoría) incluiría las siguientes:



Las empresas de consultoría de operación, como Kevin Kennedy and Associates, Inc., ayudan a otras compañías a concentrarse en el nivel estratégico o táctico de las decisiones.

- Servicios financieros (dotación de personal, automatización, estudios de calidad).
- Cuidado de la salud (dotación de personal, facturación, procedimientos de oficina, atender teléfonos, disposición de instalaciones).
- Transportación (logística de programación de rutas y embarques para los transportistas de bienes, sistemas de reservación y manejo de equipaje para las aerolíneas).
- Alojamiento (reservaciones, dotación de personal, contención de costos, programas de calidad).

Para las industrias manufacturera y de servicios, el área principal del énfasis de la consultoría así como en equipos internos es el Six Sigma esbelta. La razón es que las empresas ya llegaron a su límite en lo que pueden lograr mediante la reducción de dimensiones, y por ende se concentran en la medición y perfeccionamiento rigurosos de diversos procesos. Las empresas farmacéuticas, minoristas grandes y empresas alimentarias son ejemplos de industrias con gran demanda de consultores que se especialicen en tales programas.[5]

Servicio

¿Cuándo son necesarios consultores de operaciones?

Por lo general las compañías buscan consultores de operaciones cuando enfrentan decisiones de inversión importantes, o cuando creen que no obtienen la máxima eficacia de su capacidad productiva. Considere un ejemplo del primer tipo de situación:

> Una cadena nacional de restaurantes de tartas contrató a un consultor para determinar si era necesaria una importante adición a la capacidad de almacenamiento de congeladores en su planta de fabricación de tartas. Había vencido su contrato de arrendamiento de un almacén de congeladores local, de manera que la empresa debía tomar una decisión con mucha ra-

[5] "The Six Sigma Black Belts Are Back", *BusinessWeek,* 21 de septiembre de 2009, pp. 64-65.

pidez. El gerente de la planta quería un incremento de capacidad de 500 000 dólares. Después de analizar la demanda de varios tipos de tartas, el sistema de distribución y el arreglo contractual con el transportista, el consultor concluyó que la administración se podía ahorrar todo salvo una inversión de 30 000 dólares en la capacidad si hacía lo siguiente: Preparar un programa de producción de modelo mixto para las tartas de acuerdo con un pronóstico para cada una de las 10 clases de tartas (por ejemplo, 20% de fresa, 30% de cereza, 30% de manzana y 20% de otras tartas cada dos días del ciclo de producción de tartas). Para hacerlo era necesario obtener una información más oportuna acerca de la demanda de tartas en cada restaurante de la cadena. A su vez, eso requería que la información referente a los requerimientos de tartas se enviara directamente a la fábrica (antes el distribuidor compraba las tartas y los revendía en los restaurantes). Por último, la compañía renegoció los tiempos de recolección de las tartas en la planta para permitir una entrega justo a tiempo en los restaurantes. La compañía se encontraba en una situación de negociación mucho más fuerte que cinco años antes y el distribuidor estaba dispuesto a hacer ajustes razonables.

La lección de esto es que muy pocas decisiones de inversión en las operaciones son "de todo o nada", y que es posible encontrar buenas soluciones tan solo al aplicar los conceptos AOCS estándar de la planeación de producción, pronósticos y programación. La solución detectó que debía considerarse todo el sistema para ver en qué forma una planeación y una distribución mejores podían sustituir la capacidad tradicional.

Proceso de consultoría de operaciones

Los pasos generales en el proceso de la consultoría de operaciones (vea la ilustración 13.A2) son más o menos los mismos que para cualquier tipo de consultoría administrativa. Las diferencias principales se encuentran en la naturaleza del problema por analizar y en las clases de métodos analíticos por emplear. Lo mismo que la consultoría administrativa general, la consultoría de operaciones se puede enfocar en el nivel estratégico o en el nivel táctico, y el proceso mismo por lo general requiere prolongadas entrevistas con empleados, administradores y, con frecuencia, con clientes. Si hay una diferencia grande es porque la consultoría de operaciones genera cambios en los procesos físicos o de información cuyos resultados se miden de inmediato. La consultoría de administración por lo general exige cambios de actitud y cultura, lo cual tarda más en brindar resultados mensurables. Las funciones en las que se encuentran los consultores varían desde un *experto*, un *par de manos* o un *consultor colaborador o del proceso*. Por lo general, el papel de la consultoría de colaboración o del proceso es más eficaz en los proyectos de consultoría de administración de operaciones. Algunas empresas de consultoría en la actualidad desempeñan la función del experto en línea.

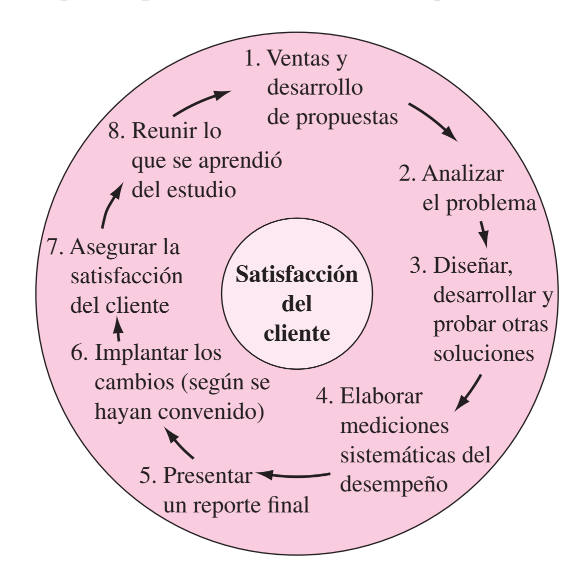
En la ilustración 13.A2 se resumen los pasos de un proceso normal de consultoría de operaciones. Un libro de Ethan M. Rasiel sobre el enfoque de McKinsey and Company ofrece algunas pautas prácticas para llevar a cabo proyectos de consultoría:[6]

- Tenga cuidado con lo que promete al estructurar un compromiso. Una buena máxima es *prometer menos y proporcionar más*.
- Busque la mezcla de equipo apropiada. No puede simplemente asignar un problema a cuatro personas elegidas al azar y esperar que lo resuelvan. Piense en la clase de capacidades y personalidades que funcionan mejor para el proyecto que tiene entre manos y elija a sus compañeros de equipo conforme a eso.
- La regla de 80-20 es una verdad administrativa. En el caso de las ventas, 80% proviene de 20% del personal de esa área; 80% del tiempo de usted está ocupado con 20% de su trabajo; y así sucesivamente.
- No exagere. No trate de analizarlo todo; sea selectivo en lo que investiga.

[6] E. M. Rasiel, *The McKinsey Way: Using the Techniques of the World's Top Strategic Consultants to Help You and Your Business,* Nueva York, McGraw-Hill, 1998.

- Aplique la prueba del ascensor. Si conoce su solución tan bien que se la puede explicar al cliente con claridad y precisión durante un recorrido de 30 segundos en el ascensor, es lo bastante buena para vendérsela al cliente.
- Elija la fruta más asequible. Si puede hacer una mejora inmediata aunque se encuentre a la mitad de un proyecto, hágalo. Eso eleva la moral y da credibilidad a su análisis.
- Elabore una gráfica cada día. Anote todo lo que aprenda; eso lo ayudará a impulsar su pensamiento y le garantiza no olvidarlo.
- Aborde una cosa a la vez. No puede hacer todo, de manera que no lo intente. Es mejor llegar siempre a primera base que tratar de anotar un jonrón y fallar nueve de cada 10 veces.
- No acepte un "no tengo la menor idea". Los clientes y su personal siempre saben algo, de manera que trate de obtener de ellos alguna conjetura informada.
- Interese al cliente en el proceso. Si el cliente no lo apoya, el proyecto se detendrá. Mantenga el interés de sus clientes haciendo que participen.
- Obtenga la aceptación en toda la organización. Si quiere que su solución tenga un impacto perdurable sobre su cliente, deberá encontrar apoyo para él en toda la empresa.
- Sea riguroso acerca de la implantación. Se requiere mucho trabajo para lograr que algo cambie. Sea riguroso y concienzudo. Asegúrese de que alguien asuma la responsabilidad de terminar el trabajo.

ILUSTRACIÓN 13A.2
Etapas del proceso de consultoría de operaciones.



Herramientas de la consultoría de operaciones

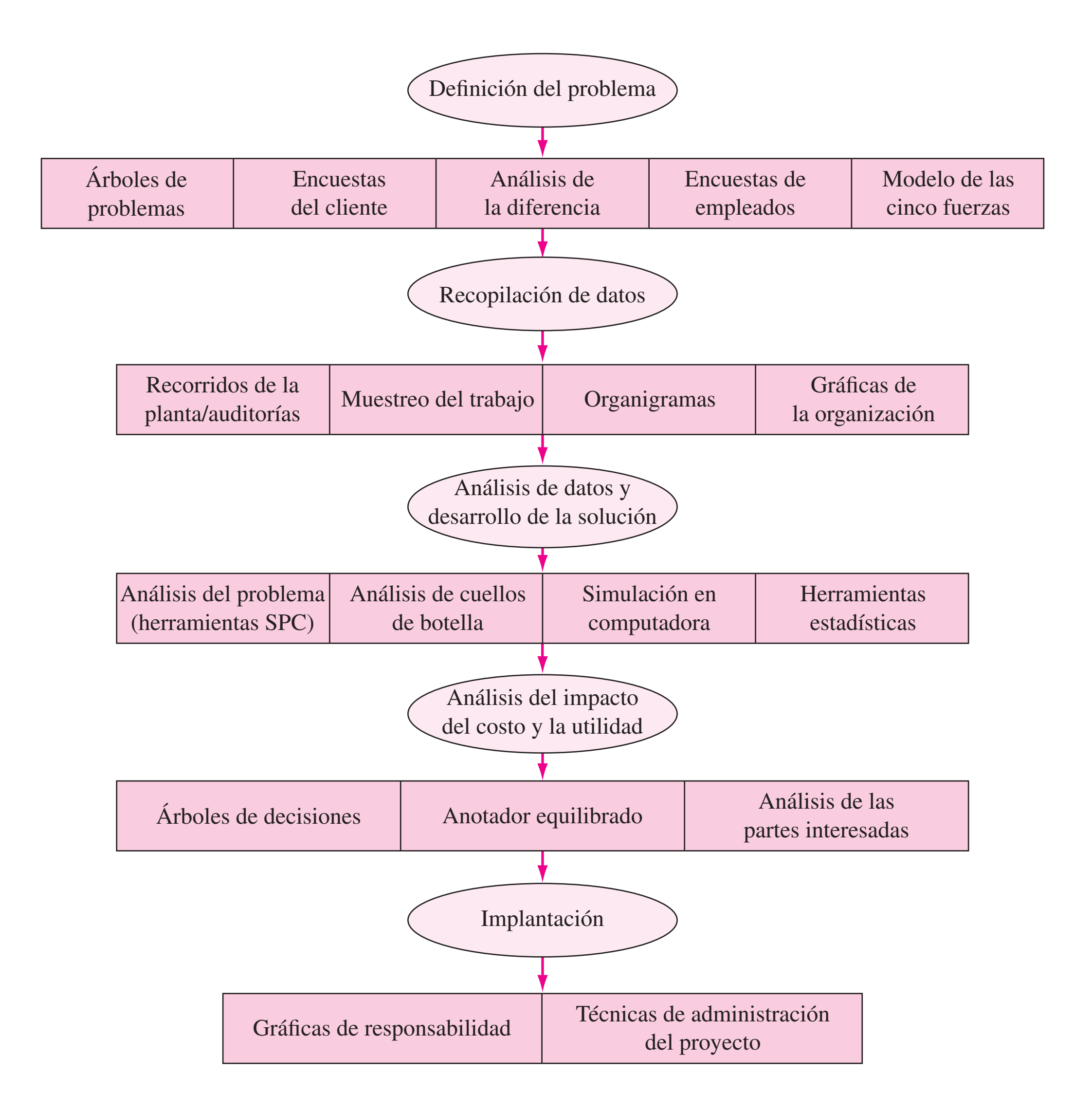
Las herramientas de la consultoría de operaciones se categorizan como herramientas para *definición de problemas*, *recopilación de datos*, *análisis de datos y desarrollo de la solución*, *análisis del impacto del costo y la utilidad,* y para la *implantación*. Esas herramientas, junto con algunos sistemas de administración estratégica, marketing y de información que suelen utilizarse en la consultoría de AOCS, se muestran en la ilustración 13A.3 y se describen a continuación (observe que varias de esas herramientas se utilizan en más de una etapa de un proyecto).

HERRAMIENTAS PARA DEFINIR PROBLEMAS

Árboles de problemas McKinsey utiliza los árboles de problemas para estructurar o delinear los problemas fundamentales por investigar y proporcionar una hipótesis inicial adecuada como solución probable a dichos problemas. Como se ve en la ilustración 13A.4, un árbol empieza con el problema general (incrementar las ventas de accesorios) y después avanza nivel por nivel hasta identificar las fuentes potenciales del problema. Una vez desplegado el árbol se analizan las relaciones que propone y las posibles soluciones, y después se especifica el plan del proyecto.

Encuestas del cliente Con frecuencia se recurre a los consultores de AOCS para abordar problemas identificados por las encuestas del cliente realizadas por los consultores de marketing o por el personal de marketing. Sin embargo, a menudo no están actualizadas o su estructura no separa los problemas del proceso de la publicidad o de otros intereses de marketing. Aunque las encuestas estén bien hechas, una buena forma de tener una idea del desempeño del proceso es llamar a los clientes y preguntarles acerca de su experiencia con la compañía. Un uso clave de las encuestas del cliente es el *análisis de la lealtad del cliente*, pese a que en realidad los clientes no sean tan "leales" (Nerón, su perro, es leal); la lealtad se "gana" mediante un desempeño efectivo. Sin embargo, el término *lealtad* capta la idea de lo bien que se desempeña una organización conforme a tres medidas críticas del mercado: retención del cliente, participación de la cartera y sensibilidad al precio en relación con los competidores. Disponer de esa información

ILUSTRACIÓN 13A.3
Herramientas de la consultoría de operaciones.



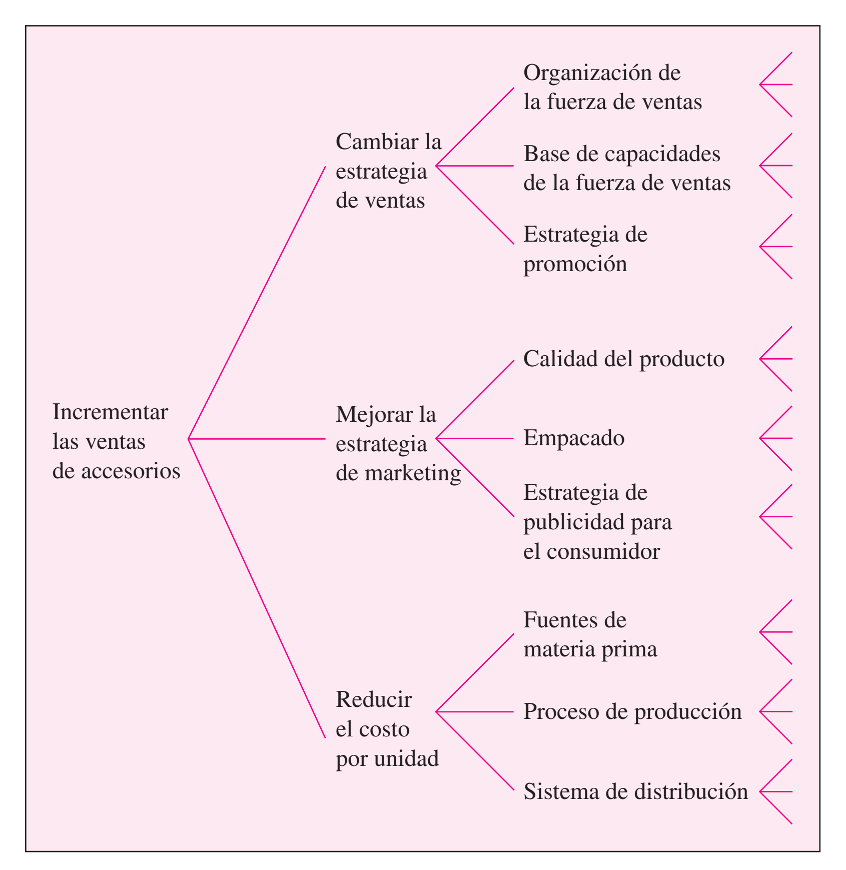
ayuda al consultor de AOCS a buscar en la organización los factores operacionales directamente vinculados a la retención del cliente. Si bien por lo general los grupos de marketing se encargan de los estudios de lealtad, los consultores de AOCS deben estar conscientes de su importancia.

Análisis de la diferencia Con el análisis de la diferencia se evalúa el desempeño del cliente en relación con las expectativas de sus propios clientes o en relación con el desempeño de sus competidores. En la ilustración 13.A5 se muestra un ejemplo.

Otra forma de analizar la diferencia es comparar los procesos de la compañía de un cliente particular con ejemplares en el proceso y medir las diferencias. Por ejemplo, si a alguien le interesa la exactitud del proceso de facturación y la resolución del problema, American Express sería el hito de comparación; en el caso de las llegadas y salidas a tiempo y la eficiencia en la transportación por ferrocarril, sería Japanese Railways; para el registro de pedidos en las ventas por catálogo, sería L.L. Bean.

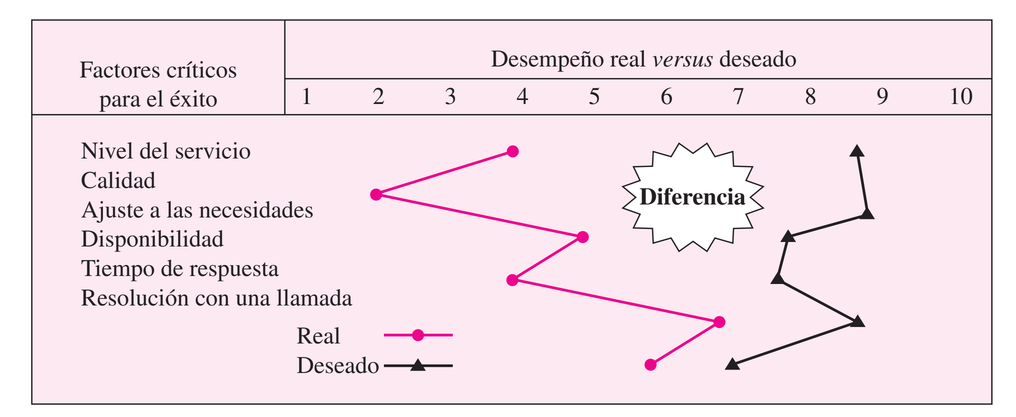
Encuestas de empleados Esas encuestas varían desde las de satisfacción del empleado hasta las de sugerencias. Un punto básico que se debe recordar es que si el consultor solicita sugerencias del empleado, la administración debe evaluar con cuidado esa información y actuar en consecuencia. Hace algunos años, Singapore Airlines distribuyó un cuestionario entre su personal de vuelo pero cometió el error de no hacer un seguimiento para abordar sus preocupaciones. Como resultado, los empleados criticaron a la empresa más de lo que lo habrían hecho si no se hubiera levantado la encuesta y, hasta el día de hoy, la compañía no ha vuelto a usar esta forma de evaluación.

ILUSTRACIÓN 13A.4
Árbol de problemas para los accesorios Acme.



Fuente: E. M. Rasiel, *The McKinsey Way*, Nueva York, McGraw-Hill, 1998, p. 12. Reimpresa con autorización.

ILUSTRACIÓN 13A.5
Análisis de la diferencia.

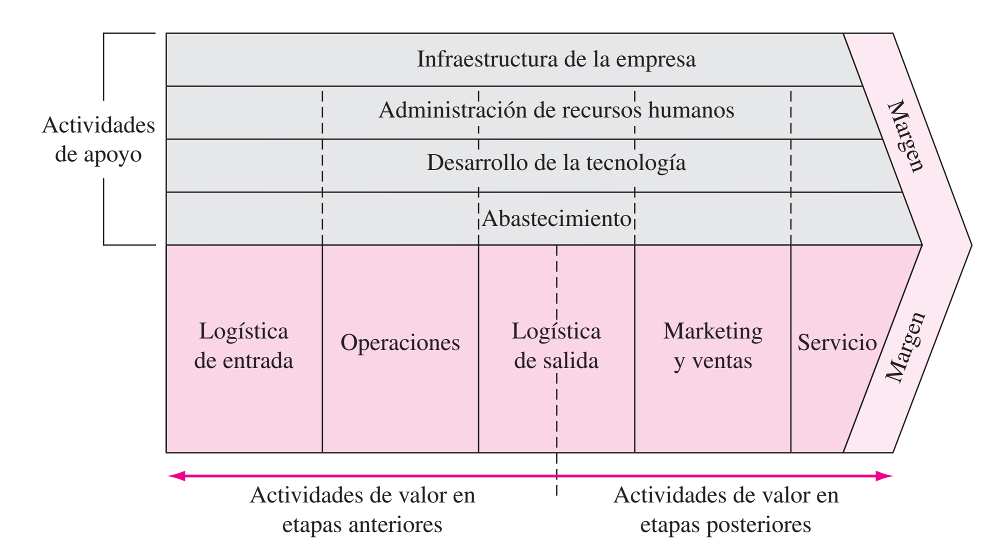


Fuente: Deloitte & Touche Consulting Group.

Modelo de las cinco fuerzas Es uno de los enfoques más conocidos para evaluar la posición competitiva de una compañía en vista de la estructura de su industria. Las cinco fuerzas son poder del comprador, entrantes potenciales, proveedores, productos sustitutos y rivales en la industria. El consultor aplica el modelo con una lista de factores conforme a cada uno de esos encabezados. Algunos ejemplos de la posición competitiva de un cliente son cuando los compradores tienen una información limitada, hay barreras importantes para los entrantes potenciales, hay muchos proveedores disponibles, hay pocos productos (o servicios) sustitutos y hay pocos rivales en la industria.

Otro modelo que suele utilizarse con el de las cinco fuerzas es el de la *cadena de valor*, como el que se muestra en la ilustración 13A.6. La cadena de valor proporciona una estructura

ILUSTRACIÓN 13A.6
Cadena de valor.



Fuente: Reimpresa con autorización de Harvard Business School Press. De *Competition in Global Industries*, M. E. Porter, Boston, Massachusetts, 1986, p. 24. Copyright 1986 por el President and Fellows of Harvard College. Todos los derechos reservados.

para captar el vínculo de las actividades organizacionales que crean un valor para el cliente y una utilidad para la empresa. Es particularmente útil para comprender la noción de que las operaciones y las demás actividades deben ser interfuncionales para lograr un desempeño organizacional óptimo (y evitar el temible síndrome del "silo funcional").

Una herramienta similar al modelo de las cinco fuerzas es el *análisis FODA* (SWOT, por sus siglas en inglés). Es un método un poco más general para evaluar a una organización y tiene la ventaja de ser fácil de recordar: *F*ortalezas del cliente, *O*portunidades para el cliente, *D*ebilidades del cliente y *A*menazas de los competidores y del entorno económico o del mercado.

ACOPIO DE DATOS

Recorridos por la planta/auditorías Se clasifican como recorridos por la planta/auditorías de fabricación y recorridos/auditorías de las instalaciones de servicio. Las auditorías completas de fabricación son una labor importante que implica medir todos los aspectos de la instalación y procesos de producción, así como las actividades de apoyo, como mantenimiento y abastecimiento del inventario. Con frecuencia todo eso requiere varias semanas, mediante listas de verificación creadas explícitamente para la industria del cliente. Los recorridos por la planta, por otra parte, suelen ser mucho menos detallados y se pueden hacer en medio día. El propósito del recorrido es darse una idea general del proceso de fabricación antes de enfocarse en un área de un problema particular. En los recorridos se utilizan listas de verificación genéricas o preguntas generales como las que se hacen en el método de evaluación rápida de la planta.[7]

El recorrido de evaluación rápida de la planta (ERP) está diseñado para permitir que un equipo de estudio determine la "esbeltez" de una planta en solo 30 minutos. El enfoque utiliza un cuestionario de 20 puntos y una hoja de calificación de 11 categorías (véanse las ilustraciones 13A.9 y 13A.10 al final de este capítulo). Durante el recorrido, los miembros del equipo hablan con los trabajadores y los administradores en busca de evidencias de las mejores prácticas. R. Eugene Goodson, quien elaboró la ERP, sugiere que cada miembro del equipo se enfoque en pocas categorías y no tome notas, pues eso interfiere con las conversaciones con los trabajadores y con la posibilidad de captar indicios visuales. Al final del recorrido, los miembros comentan sus impresiones y llenan las hojas de trabajo. Las categorías son decisivas para el recorrido. Sus características se resumen en el cuadro de Innovación "Evaluación rápida de la planta".

[7] R. E. Goodson, "Read a Plant—Fast", *Harvard Business Review* 80, núm. 5, mayo de 2002, pp. 105-113.

INNOVACIÓN

EVALUACIÓN RÁPIDA DE LA PLANTA

1. **Satisfacción del cliente.** Una fuerza de trabajo orientada al cliente se enorgullecerá de satisfacer a los clientes, tanto externos como internos. El grado de esta orientación debe ser visible incluso durante un breve recorrido de la planta. Por ejemplo, cuando les preguntan acerca de su siguiente paso en el proceso, los empleados conscientes del cliente responderán dando el nombre de una persona o de un producto en vez de decir que simplemente colocaron el producto en la tarima y que después lo movieron. Las calificaciones de cordialidad hacia el grupo visitante y de calidad y satisfacción del cliente son otras señales de una fuerza de trabajo orientada al cliente. (Las preguntas 1, 2 y 20 del cuestionario de ERP se relacionan con esta medida; el cuestionario se incluye al final de este capítulo.)
2. **Seguridad, entorno, limpieza y orden.** El entorno físico de una planta es importante para la eficacia de la operación. La limpieza, niveles bajos de ruido, buena iluminación y calidad del aire son cosas obvias que se deben buscar. La clasificación y el seguimiento de todos los lotes del inventario, no solo de los costosos, deben ser evidentes. (La falta de las tuercas y tornillos requeridos puede ser tan fatal para la producción como la falta de un componente importante; preguntas 3 a 5 y 20.)
3. **Sistema de administración visual.** Las herramientas de administración de producción, como las instrucciones de trabajo, los programas *kanban* y las gráficas de calidad y productividad deben estar a la vista. Los diagramas del flujo de trabajo que vinculan cada etapa de un proceso (como las que se encuentran en las plantas de productos químicos) son indicios visuales particularmente eficaces (preguntas 2, 4, 6 10 y 20).

   Las tres categorías siguientes están entrelazadas. La calificación rápida de una planta respecto de las tres es sencilla gracias a las señales visuales obvias.
4. **Sistema de programación.** La programación implica el ritmo del flujo de trabajo. Goodson sugiere que debe haber una sola "cadencia" para cada línea de productos y sus proveedores. Este proceso, por lo general al final de la línea, controla la rapidez y producción de todas las actividades de etapas anteriores, lo mismo que un automóvil de ritmo determina la velocidad en una pista de carreras. La demanda del producto en cada centro de trabajo gira en torno a la demanda en el siguiente. Esto impide que el inventario se acumule, mejora la calidad y reduce el tiempo de paro, pues las líneas de producción no se detienen en espera de piezas. Por lo general eso no sucede en las plantas que utilizan un sistema de programación central; en esas plantas, las órdenes de producción provienen de una computadora central, no del área o la línea de producción que utiliza las piezas. Otras cosas que se deben buscar: comunicación verbal y visual entre operadores de la misma línea; la acumulación de inventario en un centro de trabajo indica falta de coordinación (preguntas 11 y 20).
5. **Aprovechamiento del espacio, movimiento de materiales y flujo de la línea del producto.** Algunos buenos indicadores de una utilización eficiente del espacio son un movimiento mínimo de materiales en distancias cortas y contenedores eficientes; materiales almacenados en el punto de utilización, no en áreas separadas de almacenamiento de inventario; herramientas cerca de las máquinas, y una disposición de instalaciones para el flujo del producto, en vez de una disposición para el proceso (preguntas 7, 12, 13 y 20).
6. **Niveles de inventario y de trabajo en proceso.** Si se cuenta el número de artículos que salen de una línea, eso proporciona una medida rápida de cuánto inventario se requiere. Si una línea produce 60 unidades por hora, entonces un inventario ocioso de dos o tres veces esa cantidad al lado de una máquina es una señal de problemas de programación (preguntas 7, 11 y 20).
7. **Trabajo de equipo y motivación.** Las pláticas con los trabajadores son indicadores visibles del trabajo de equipo, así como los nombres de los equipos en un área de trabajo y las banderolas de premios por productividad son formas rápidas de determinar cómo se siente la fuerza de trabajo acerca de sus actividades, de la empresa y de sus compañeros de trabajo (preguntas 6, 9, 14, 15 y 20).
8. **Condición y mantenimiento del equipo y las herramientas.** Las fechas de compra y los costos del equipo se deben anotar a un lado de la maquinaria, y los registros del mantenimiento se deben colocar cerca. Preguntar a las personas en el área de trabajo de la fábrica cómo están funcionando las cosas y si participan en la compra de herramientas y equipo también indica hasta qué grado se alienta a los trabajadores a abordar esos aspectos (preguntas 16 y 20).
9. **Administración de la complejidad y la variabilidad.** Esto depende en gran parte del tipo de industria. Obviamente, las industrias con líneas limitadas de productos tienen menos dificultad para manejar la complejidad y la variabilidad. Los indicadores que se deben buscar en general son el número de personas que registran manualmente los datos y el número de teclados disponibles para el ingreso de datos (preguntas 8, 17 y 20).
10. **Integración de la cadena de suministro.** En general es deseable trabajar estrechamente con un número limitado de proveedores dedicados y que brinden su apoyo. Se obtiene un estimado del número de proveedores al leer las etiquetas de los contenedores para ver los nombres que aparecen en ellos. Los contenedores que parecen diseñados y etiquetados específicamente para las piezas se ajustan a las necesidades que se envían a una planta, además indican el grado hasta el cual existe una fuerte asociación de proveedores. Una señal de integración deficiente de la cadena de suministro es la cantidad de

papeleo en el área de recepción. Eso indica la falta de un sistema uniforme, en donde las plantas hacen avanzar los materiales de sus proveedores como si fuera otro eslabón más en el sistema de avance para cada línea de productos (preguntas 18 y 20).

11. **Compromiso con la calidad.** La atención a la calidad se observa de muchas formas, como colocar premios a la calidad en pizarrones de anuncios, registros de calidad y declaraciones de las metas concernientes a la calidad. Uno particularmente interesante fue el panel de una portezuela colgado en un muro en la planta de Toyota en Paramount, California, que tenía un gran círculo pintado alrededor de un raspón inexistente, con la inscripción: "Raspón aceptable en la pintura". Preguntar a las personas qué hacen con el raspón también da una idea sobre las prácticas de calidad. La calidad se refleja en muchas de las demás actividades de la planta, como el desarrollo del producto y las preparaciones (preguntas 15, 17, 19 y 20).

Fuente: Modificado de R. Eugene Goodson, "Read a Plant—Fast", *Harvard Business Review 80*, núm. 5, mayo de 2002, pp. 105-113.

Goodson informa que, con base en los recorridos realizados a 150 compañías, las calificaciones habituales de la suma de las 11 categorías, con 11 puntos posibles por categoría, varían entre 30 y 90, con un promedio de 55. Las categorías 4, 5 y 6 (programación, espacio y flujo de materiales e inventario) suelen recibir las evaluaciones más bajas en la hoja de calificación. La razón de ello, según Goodson, es que muy pocas plantas tienen una estrategia obvia para la forma en la cual desplazan sus materiales, lo que provoca una utilización ineficiente de espacio y equipo. Uno de los principales puntos fuertes del método de ERP es que tiende a producir resultados consistentes entre los calificadores, pues es muy difícil "fingir una organización esbelta". Como dice Goodson, "si una operación se ve bien para un ojo capacitado, por lo general así es".

Servicio

Las auditorías completas de las instalaciones de servicio también son una labor importante, pero difieren de las auditorías de fabricación en que, cuando se hacen bien, se enfocan en la experiencia del cliente tanto como en el aprovechamiento de los recursos. Las preguntas comunes en una auditoría de servicio abordan el tiempo para obtener el servicio, la limpieza de la instalación, el número de empleados y la satisfacción del cliente. Un recorrido de la instalación de servicio a menudo se efectúa como un comprador misterioso, en donde el consultor en realidad participa en el servicio y anota sus experiencias.

Muestreo del trabajo El muestreo del trabajo implica observaciones de muestras aleatorias de las actividades laborales, diseñadas para proporcionar una perspectiva estadísticamente válida de cómo pasa el tiempo un trabajador o de la utilización de un equipo. Los estudios diarios son otra forma de recopilar datos de la actividad. Los consultores los utilizan para entender mejor labores muy específicas de la fuerza de trabajo. En ellos, el empleado tan solo anota las actividades que desempeña durante la semana a medida que ocurren. Eso evita el problema de hacer que los analistas miren por encima del hombro de un trabajador para recopilar datos. Algunos ejemplos de dónde se utilizan esos estudios son mostradores de bibliotecas, enfermerías y trabajos especializados.

Servicio

Ejemplo de movimiento mínimo de materiales en cortas distancias y materiales almacenados en el lugar de uso.

Organigramas Los organigramas son útiles tanto en el sector manufacturero como en el de servicios para hacer un seguimiento de materiales, información y flujos de personas. El software del flujo de trabajo como Optima! y BPR Capture es muy popular para el análisis de procesos. Además de proporcionar capacidades para definir un proceso, la mayoría del software del flujo de trabajo ofrece otras cuatro funciones básicas: asignación y rutas de trabajo, programación, administración de listas de trabajo, y estado automático y métrica del proceso. Los organigramas que se utilizan en servicios, o anteproyectos del servicio, son básicamente lo mismo, pero añaden la distinción importante de la línea de visibilidad para diferenciar con claridad las actividades que tienen lugar con el cliente, en comparación con las que se llevan a cabo tras bambalinas. En nuestra opinión, las empresas de

consultoría no utilizan el anteproyecto de servicios en todo su potencial, tal vez debido a que relativamente muy pocos consultores los conocen durante su capacitación.

Gráficas de la organización Las gráficas de la organización a menudo están sujetas a cambios, de manera que se debe tener cuidado para ver realmente quién informa a quién. Algunas empresas se muestran reacias a compartir externamente las gráficas de la organización. Hace varios años, un administrador senior de una importante empresa de electrónica comentó que una gráfica detallada de la organización proporciona información gratuita a la competencia.

ANÁLISIS DE DATOS Y FORMULACIÓN DE SOLUCIONES

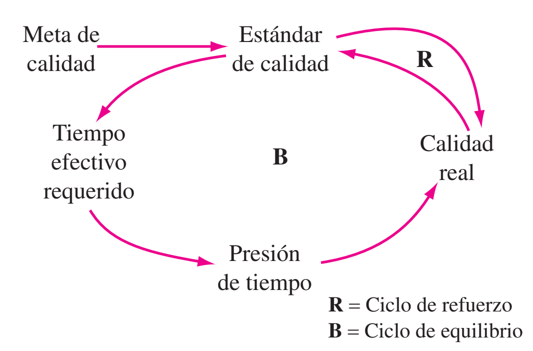
Análisis del problema (herramientas SPC) El análisis de Pareto, los diagramas de espina de pescado, las gráficas de corridas, los diagramas de dispersión y las gráficas de control son herramientas fundamentales virtualmente en todo proyecto de mejoramiento continuo. El *análisis de Pareto* se aplica a la administración del inventario bajo el encabezado de análisis ABC. Ese análisis ABC todavía es el punto de partida estándar para los consultores de control de producción cuando examinan los problemas de administración del inventario. Los *diagramas de espina de pescado* (o diagramas de causa y efecto) son una forma excelente de organizar un primer intento en un problema de consultoría (y causan una gran impresión cuando se utilizan para analizar, por ejemplo, un estudio de un caso como parte del problema de selección de empleo para una empresa de consultoría). Las *gráficas de corridas*, los *diagramas de dispersión* y las *gráficas de control* son herramientas que una persona simplemente espera conocer cuando trabaja en una consultoría de operaciones.

Análisis del cuello de botella Los cuellos de botella de recursos suelen aparecer en la mayoría de los proyectos de consultoría de AOCS. En esos casos, el consultor debe especificar la forma en que la capacidad disponible se relaciona con la capacidad requerida por algún producto o servicio para identificar y eliminar el cuello de botella. Esto no siempre es evidente, y la abstracción de las relaciones requiere la misma clase de análisis lógico que en los clásicos "problemas de letras" que a usted le fascinaban en el álgebra de la secundaria.

Simulación por computadora El análisis de simulación en computadora se ha convertido en una herramienta muy común en la consultoría de AOCS. Los paquetes más comunes de simulación de propósito general son Extend y Crystal Ball. SimFactory y ProModel (para sistemas de manufactura), MedModel (simulación de hospitales) y Service Model son ejemplos de paquetes especializados. Para una simulación más pequeña y menos compleja, los consultores a menudo utilizan Excel. El capítulo 19A introduce el tema de la simulación en este libro.

Un creciente interés en la simulación es el análisis de la "dinámica del sistema", un lenguaje que ayuda a ver los patrones que causan situaciones complejas. Esas situaciones complejas se modelan mediante diagramas de ciclo causal, útiles cuando los factores mejoran o degradan el desempeño del sistema. Los ciclos causales son de dos tipos: ciclos de refuerzo y de equilibrio. Los *ciclos de refuerzo* son ciclos de realimentación positiva que impulsan a los valores positivos en criterios importantes para el sistema. Los *ciclos de equilibrio* reflejan los mecanismos que contrarrestan a los ciclos de refuerzo, con lo que impulsan al sistema hacia el equilibrio. A modo de ejemplo, con referencia a la ilustración 13A.7, suponga que usted tiene una meta de calidad que se refleja en un estándar de calidad. El ciclo de refuerzo (R) indica que el estándar, si no se modifica, produciría un nivel siempre creciente (o decreciente) de calidad real. En realidad, lo que sucede es que entra en juego el ciclo de equilibrio (B). El tiempo efectivo requerido para cumplir con el estándar determina la presión de tiempo (sobre los trabajadores), lo que a su vez modifica la calidad real lograda y por último el logro del estándar de calidad mismo. Una utilización obvia del sistema que se muestra aquí sería formular una hipótesis de las consecuencias de elevar la meta de la calidad, o de aumentar o bajar los valores de las demás variables en el sistema. Además de su utilización en el análisis del problema, los consultores suelen aplicar simulaciones del análisis de

ILUSTRACIÓN 13A.7
Análisis del ciclo causal.



ciclo causal para ayudar a las compañías cliente a convertirse en organizaciones de aprendizaje más eficaces.[8]

Herramientas estadísticas El *análisis de correlación* y el *análisis de regresión* son capacidades esperadas de la consultoría en AOCS. La buena noticia es que esos tipos de análisis se hacen fácilmente con hojas de cálculo. La *prueba de hipótesis* es tema frecuente de los manuales de metodología de la empresa de consultoría, y hay que asegurarse de poder hacer pruebas *ji* cuadrada y pruebas *t* al analizar los datos. Otras dos herramientas muy populares que recurren al análisis estadístico son la *teoría de filas* y el *pronóstico*. A menudo, los consultores investigan, mediante la teoría de filas, cuántos canales de servicio son necesarios para atender a los clientes en persona o por teléfono. De la misma manera surgen continuamente problemas de pronósticos en la consultoría de AOCS (como pronosticar las llamadas de entrada a los centros de servicio).

Una nueva herramienta de reciente aparición (que no se muestra en la ilustración) es el *análisis de envoltura de datos* (AED). El AED es una técnica de programación lineal para medir el desempeño relativo de los ramos de organizaciones de servicio de múltiples ubicaciones, como bancos, sucursales de franquicias y organismos públicos. Un modelo de AED compara cada sucursal con las demás y calcula una calificación de la eficiencia basada en la razón entre entradas de recursos y salidas de productos o servicios. La característica clave del enfoque es que permite trabajar con múltiples entradas, como materiales y horas de trabajo, y múltiples salidas, como productos vendidos y clientes repetidos, para obtener la razón de eficiencia. Esta característica ofrece una medida más amplia y confiable de la eficiencia que una serie de razones de operación o medidas de utilidad.

IMPACTO EN LOS COSTOS Y ANÁLISIS DE RENDIMIENTO

Árboles de decisión Los árboles de decisión representan una herramienta fundamental de la extensa área del análisis de riesgos. Se utilizan ampliamente para examinar las inversiones en equipo y planta, y en los proyectos de investigación y desarrollo. Los árboles de decisión están incorporados en varios paquetes de software, como TreeAge (**www.treeage.com**).

Análisis de las partes interesadas La mayoría de los proyectos de consultoría causan un impacto de alguna forma en cada uno de los cinco tipos de partes interesadas: clientes, accionistas, empleados, proveedores y comunidad. La importancia de considerar el interés de todos los interesados se refleja en la declaración de la misión que virtualmente todas las corporaciones comparten y, como tal, les proporciona una guía a los consultores cuando formulan sus recomendaciones.

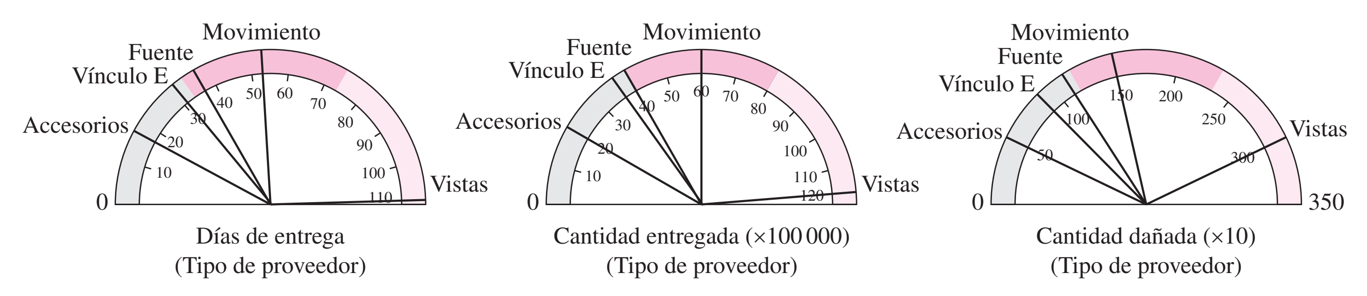
Indicador balanceado del desempeño En un intento por reflejar las necesidades particulares de cada parte interesada en un sistema de medición del desempeño, los contadores elaboraron lo que se conoce como *indicador balanceado del desempeño* ("balanceado" se refiere a que el indicador hace más que tomar nota de los aspectos básicos, o de una o dos medidas más del desempeño). Atkinson y colaboradores comentan la forma como el Banco de Montreal utiliza la noción del indicador balanceado del desempeño para determinar metas y medidas específicas de servicio al cliente, relaciones de empleados, rendimiento para los propietarios y relaciones comunitarias. Una característica clave del sistema es que se ajusta a lo que pueden controlar la administración senior y la administración del nivel de las sucursales.[9]

Medidores de procesos En contraste con el indicador balanceado del desempeño, que se enfoca en los datos de desempeño de toda la organización, los medidores de procesos están diseñados para proporcionar actualizaciones breves del desempeño de procesos específicos. Los medidores consisten en una selección de mediciones de desempeño presentadas en forma gráfica, con codificaciones a color de las líneas de las tendencias, alarmas en forma de puntos de exclamación,

[8] Vea J. D. Sterman, "System Dynamics Modeling: Tools for Learning in a Complex World", *California Management Review* 43, núm. 4, verano de 2002, pp. 8-26.

[9] A. Atkinson, R. Banker, R. Kaplan y M. Young, *Management Accounting,* 3a. ed., Englewood Cliffs, Nueva Jersey, Prentice Hall, 2001, p. 46.

ILUSTRACIÓN 13A.8 Medidor para proveedores.



etc., para mostrar cuándo los indicadores básicos se acercan al nivel de un problema. Por ejemplo, en la ilustración 13A.8 se muestran tres cuadrantes para proveedores.

Puesta en práctica

Gráficas de responsabilidad Una gráfica de responsabilidad se utiliza en la planeación de los compromisos de la tarea para un proyecto. Por lo general adopta la forma de matriz, en donde las actividades aparecen a lo largo de la parte superior y los miembros del equipo del proyecto a un lado y hacia abajo. La meta es verificar que exista una marca de comprobación en cada cuadro para garantizar que haya una persona asignada a cada labor.

Técnicas de administración de proyectos Con las técnicas de administración de proyectos CPM/PERT y las gráficas de Gantt las empresas de consultoría planean y supervisan toda la cartera de compromisos de consultoría de la empresa cliente, así como los proyectos de consultoría individuales. Microsoft Project y Primavera Project Planner son ejemplos del software común para automatizar esas herramientas. Evolve Software elaboró un paquete de software para las empresas de servicio profesional, modelado conforme a la PRE para manufactura, que permite a la gerencia integrar la administración de la oportunidad (el proceso de venta), la administración de recursos y la administración de la entrega. Se debe hacer hincapié en que esas herramientas de planeación son muy secundarias a las capacidades de administración de las personas, necesarias para ejecutar con éxito un proyecto de consultoría. De la misma manera, esta advertencia es válida para todas las herramientas de las que se ha tratado en esta sección.

Reingeniería de procesos empresariales (RPE)

Michael Hammer, el experto en administración que inició el movimiento de reingeniería, define la **reingeniería** como "el acto de volver a pensar en los fundamentos y el rediseño radical de los procesos de negocios, con el fin de lograr mejoras considerables en las medidas críticas contemporáneas del desempeño, como costo, calidad, servicio y rapidez".[10] Para lograr esas metas recurre a muchas de las herramientas que se acaban de mencionar.

Reingeniería

El concepto de reingeniería existe desde hace casi dos décadas y se implantó en forma gradual en las empresas. Las organizaciones productoras han ido a la vanguardia sin saberlo. Iniciaron la reingeniería al implantar sistemas concurrentes de ingeniería, producción esbelta, fabricación celular, tecnología de grupo y sistemas de producción por demanda. Esto representa un replanteamiento fundamental del proceso de fabricación.

La reingeniería suele compararse con la administración de la calidad total (ACT), tema que se cubre en el capítulo 9. Algunas personas sostienen que en realidad las dos son iguales, y otras argumentan incluso que son incompatibles. Michael Hammer afirma que los dos conceptos son compatibles y que de hecho se complementan entre sí. Ambos conceptos se centran en el enfoque al cliente. Los conceptos de trabajo de equipo, participación del empleado y delegación del poder en él (*empowerment*), interfuncionalidad, análisis y medición del proceso, participación

[10] M. Hammer y J. Champy, *Reengineering the Corporation: A Manifesto for Business Revolution,* Nueva York, Harper Business, 1993, p. 30.

del proveedor y procesos de comparación son contribuciones significativas de la administración de la calidad. Además, la administración de la calidad destacó de nuevo la necesidad de una perspectiva "total" de la organización en una era de funcionalización extensiva de los negocios. La administración de la calidad también influyó en la cultura y los valores de las empresas al exponerlas a la necesidad de un cambio. La diferencia básica entre las dos es que la administración de la calidad pone el acento en el mejoramiento continuo y gradual de los procesos bajo control y la reingeniería se interesa en el cambio discontinuo radical mediante la innovación del proceso. Por consiguiente, la ACT mejora un proceso determinado hasta que termina su vida útil, en cuyo punto se somete a una reingeniería. Después se reanuda el mejoramiento y vuelve a empezar todo el ciclo. Hammer señala que esto no es una labor de toda la vida. A medida que cambian las circunstancias del negocio también deben cambiar los diseños del proceso.

Principios de reingeniería

La reingeniería se refiere a lograr un mejoramiento significativo en los procesos de manera que se cumpla con los requerimientos contemporáneos del cliente en lo que concierne a calidad, rapidez, innovación, ajuste a sus necesidades y servicio. Hammer propone siete principios o reglas para la reingeniería y la integración.[11]

Regla 1. Organizarse por resultados, no por tareas Varias tareas especializadas, desempeñadas antes por diferentes personas, se deben combinar en una sola labor. Ese trabajo lo puede desempeñar un "trabajador de caso" individual o un "equipo de caso". La nueva actividad creada debe incluir todos los pasos en un proceso que genere un resultado bien definido. La organización por resultados elimina la necesidad de delegar, lo que resulta en rapidez, productividad y actitud de respuesta hacia el cliente; asimismo, le proporciona un solo punto de contacto experto.

Regla 2. Hacer que quienes utilizan el resultado del proceso desempeñen el proceso En otras palabras, el trabajo se debe llevar a cabo en donde sea más prudente hacerlo. Esto permite que las personas más cercanas al proceso desempeñen realmente el trabajo, lo que cambia la labor tanto dentro como fuera de la empresa. Por ejemplo, los empleados se encargan de una parte de sus propias compras sin pasar por el departamento de adquisiciones, los clientes efectúan ellos mismos algunas reparaciones sencillas y se pide a los proveedores que administren el inventario de piezas. El trabajo reubicado de esta manera elimina la necesidad de coordinar a los encargados y los usuarios del proceso.

Regla 3. Combinar el trabajo de procesamiento de la información con el trabajo real que produce la información Esto quiere decir que las personas que recopilan la información también deben ser responsables de su procesamiento. Eso reduce la necesidad de que otro grupo concilie y procese esa información, así como, en gran medida, los errores al disminuir el número de puntos de contacto externos para un proceso. Un ejemplo de un caso así es el departamento común de cuentas por pagar que concilia las órdenes de compra, y recibe notificaciones y facturas del proveedor. Al eliminar la necesidad de facturas al procesar las órdenes y recibir la información en línea, es innecesaria gran parte del trabajo en la función tradicional de cuentas por pagar.

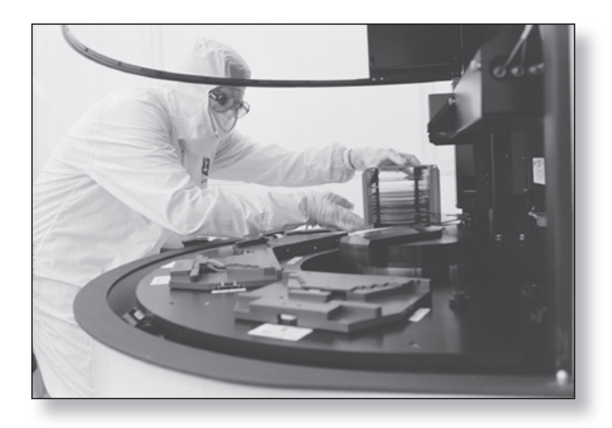
Regla 4. Tratar los recursos geográficamente dispersos como si estuvieran centralizados La tecnología de la información hizo realidad el concepto de operaciones híbridas centralizadas/descentralizadas. Facilita el procesamiento paralelo del trabajo mediante unidades organizacionales separadas que desempeñan el mismo trabajo y al mismo tiempo mejora el control total de la empresa. Por ejemplo, las bases de datos y las redes de telecomunicación centralizadas ahora permiten que las compañías se eslabonen con unidades separadas o con el personal de campo individual, lo que brinda economías de escala y mantiene al mismo tiempo su flexibilidad individual y su actitud de respuesta hacia el cliente.

[11] M. Hammer, "Reengineering Work: Don't Automate, Obliterate", *Harvard Business Review* 90, núm. 4, julio-agosto de 1990, pp. 104-112.

Regla 5. Vincular las actividades paralelas en vez de integrar sus resultados El concepto de integrar solo los resultados de actividades paralelas que a la larga se deben unir es la causa principal de duplicación de funciones, costos elevados y demoras en el resultado final del proceso total. Esas actividades paralelas se deben vincular y coordinar continuamente durante el proceso.

Regla 6. Situar la toma de decisiones en donde se desempeña el trabajo e incluir el control en el proceso La toma de decisiones debe ser parte del trabajo desempeñado. Hoy día esto es posible con una forma de trabajo más educada y conocedora, además de la tecnología para ayudar en las decisiones. Los controles ahora forman parte del proceso. La compresión vertical que resulta produce organizaciones más planas y con más capacidad de respuesta.

Regla 7. Capturar la información una sola vez, en la fuente La información se debe recopilar y capturar en el sistema de información en línea de la compañía solo una vez, en donde se creó. Este enfoque evita ingresos de datos erróneos y costosos reingresos.



El personal de reingeniería de Texas Instruments, el grupo de servicios estratégicos, tiene proyectos continuos en recursos humanos, mejora de la cadena de suministro, y diseño y estrategia del producto. Los miembros del grupo actúan como asesores de negocios para buscar oportunidades de mejora del proceso.

Guía de implantación

Los principios de la reingeniería del proceso de negocios que se acaban de enumerar se basan en una plataforma común de utilización innovadora de la tecnología de la información. Pero la creación de un nuevo proceso y el mantenimiento del mejoramiento requieren algo más que una aplicación creativa de la tecnología de la información. Un estudio reciente de las aplicaciones de la reingeniería en 765 hospitales produjo las tres pautas administrativas siguientes que se aplican a casi todas las organizaciones que contemplan una reingeniería:

1. **Codificación de reingeniería.** Los programas de cambio que afectan a toda la organización, como la reingeniería, son procesos complejos cuya implantación debe estar separada por el espacio y el tiempo. A menudo se deja que los administradores de nivel medio implanten porciones significativas de las propuestas de reingeniería. La codificación proporciona una guía y una dirección para una implantación congruente y eficiente.
2. **Metas claras y realimentación constante.** Se deben establecer con claridad metas y expectativas, recopilar una base de datos de la aplicación previa y supervisar los resultados para realimentar a los empleados. Sin una realimentación clara, los empleados a menudo se sienten descontentos y sus percepciones del éxito de la reingeniería pueden ser diferentes de los resultados reales. Por ejemplo, los investigadores de hospitales observaron que en 10 hospitales que estudiaron a fondo, en cuatro de ellos la mayoría de los empleados pensaba que el programa de reingeniería había hecho muy poco para cambiar los costos, aunque en realidad sus costos habían bajado de 2 a 12% en relación con sus competidores. Por otra parte, cuatro hospitales en donde la mayoría pensaba que la reingeniería había bajado sus costos en realidad experimentaron un incremento en los costos relativos y un deterioro de su posición de costos.
3. **Nivel elevado de participación de los ejecutivos en los cambios clínicos.** Un elevado nivel de participación del director ejecutivo en los cambios importantes del proceso (cambios clínicos en los hospitales) mejora los resultados de la reingeniería. Bogue y colaboradores descubrieron que los directores ejecutivos en aplicaciones infructuosas tendieron a participar más en la reducción de administradores y empleados, y menos a las actividades referentes a los cambios clínicos.[12]

[12] E. M. Bogue, M. J. Schwartz y S. L. Watson, “The Effects of Reengineering: Fad or Competitive Factor?”, *Journal of Healthcare Management* 44, núm. 6, noviembre-diciembre de 1999, pp. 456-476.

Resumen

Las oportunidades de consultoría abundan para los individuos con capacidades en AOCS. Esto es cierto no solo en el caso de las principales empresas de consultoría, sino también de las empresas con nichos más pequeños, en particular aquellas con capacidades en administración de la cadena de suministro y en aplicaciones en internet. La rentabilidad para los socios de una empresa de consultoría depende de que sean capaces de apalancar en forma eficaz su tiempo con el de sus consultores junior. Para los consultores principiantes, la meta es participar en proyectos con un elevado nivel de visibilidad, en los cuales demuestren sus capacidades e incrementen sus áreas de capacidad. Empresas como Accenture y McKinsey & Company desarrollaron enfoques especiales para la consultoría que son algo de arte y algo de procedimiento. Gran parte del éxito de un compromiso de consultoría depende de la capacidad de los consultores para trabajar con las personas y para lograr que su trabajo sea visible. Esto es especialmente cierto en el caso de la reingeniería, en donde a menudo es necesario cambiar no solo las prácticas y procedimientos, sino también las culturas laborales, en aras del éxito de la reingeniería.

Conceptos clave

Consultoría de operaciones Ayudar a los clientes a elaborar estrategias de operaciones y mejorar los procesos de producción.

"Buscadores" Socios o consultores senior cuya función primordial consiste en las ventas y las relaciones con el cliente.

"Cuidadores" Administradores de una empresa de consultoría cuya función primordial es el manejo de proyectos de consultoría.

"Machacadores" Consultores junior cuya función primordial es desempeñar el trabajo.

Reingeniería (o reingeniería del proceso de negocios) Nuevo pensamiento fundamental y rediseño radical de los procesos de negocios para lograr considerables mejoramientos en costo, calidad, servicio y rapidez.

Preguntas de repaso y análisis

1. Consulte los sitios en internet de las compañías de consultoría mencionadas en este capítulo. ¿Cuáles lo impresionaron más como cliente potencial o empleado potencial?
   Boston Consulting Group (www.bcg.com)
   Deloitte Touche Tohmatsu (www.deloitte.com)
   McKinsey and Co. (www.McKinsey.com)
2. ¿Qué se necesita para ser un buen consultor? ¿Es la carrera apropiada para usted?
3. Piense en el sistema de inscripción de su universidad. Trace un organigrama para comprenderlo. ¿Cómo haría usted un rediseño radical de este proceso?
4. ¿Ha conducido un automóvil últimamente? ¡Trate de no pensar en el proceso de reclamación del seguro mientras maneja! ¿Cómo haría usted una reingeniería del proceso de reclamaciones de su compañía de seguros?
5. Identifique los procesos habituales de las fábricas. Comente la forma en la cual el nuevo proceso de desarrollo del producto interfiere con las funciones tradicionales en la empresa.
6. Al hablar de las características de las plantas eficientes, Goodson, quien inventó las evaluaciones fabriles rápidas (vea el recuadro Innovación), postula que numerosos montacargas son una señal de utilización deficiente del espacio. ¿En qué cree usted que se funda esta observación?

Problemas

1. Le solicitaron una propuesta en un trabajo de consultoría para incrementar la rentabilidad de una compañía de campos de golf. Es propietaria de tres campos de golf en Cleveland, Ohio. Prepare una propuesta para averiguar por qué otras empresas son más rentables y qué hacer al respecto.
2. Trabaje con otros dos estudiantes en la elaboración de un prospecto de dos páginas que describa las características especiales de una práctica de consultoría de AOCS que iniciarán después de graduarse. (Sugerencia: identifiquen un mercado meta y las capacidades únicas que posee su equipo y se ajusten a ese mercado).
3. Bosqueje el proceso común de obtención de materiales en las organizaciones funcionales. Con los principios de reingeniería, cuestione el estado de cosas y rediseñe ese proceso.

4. Un fabricante de equipo tiene los siguientes pasos en su proceso de entrada de pedidos:
a) Toma el pedido y lo envía por fax a entradas de pedidos.
b) Ingresa el pedido en el sistema (10% no está claro o es incorrecto).
c) Verifica las existencias disponibles (no hay existencias disponibles para 15% de los pedidos).
d) Verifica el crédito del cliente (10% de los pedidos tienen preguntas de crédito).
e) Envía la factura de los materiales al almacén.
El ciclo de tiempo del pedido hasta el almacén por lo general es de 48 horas; 80% de los pedidos se maneja sin errores y los costos de manejo del pedido son de 6% del ingreso del pedido. ¿Debe usted someter este proceso a una reingeniería, o el enfoque apropiado es un mejoramiento continuo? Si se decide por la reingeniería, ¿cómo lo haría?

5. Ejercicio de evaluación rápida de la esbeltez de una planta (ERP): forme un equipo de cuatro a cinco personas y hagan un recorrido de 30 minutos de una planta o de un negocio de servicio. Al terminar el recorrido, califiquen la esbeltez de la operación mediante el cuestionario de ERP y la hoja de calificaciones que se proporciona en las ilustraciones 13A.9 y 13A.10. (Según quien elaboró el cuestionario, el número promedio de respuestas afirmativas para más de 400 recorridos de plantas fue siete, y la desviación estándar, 2.) En el aula, comenten las áreas en donde por lo general no existe lo esbelto en todas las compañías visitadas.

ILUSTRACIÓN 13A.9 Cuestionario ERP. El número total de respuestas afirmativas de este cuestionario es un indicador de lo esbelta que es una planta; cuantas más respuestas afirmativas, más esbelta es la planta. Cada pregunta debe contestarse afirmativamente solo si es patente que la planta se adhiere al principio que se implica. En caso de duda, responda en sentido negativo.

		Sí	No
1.	¿Se recibe a los visitantes y se da información sobre la disposición de la planta, trabajadores, clientes y productos?	○	○
2.	¿Se muestran calificaciones de satisfacción de clientes y calidad de los productos?	○	○
3.	¿Las instalaciones son seguras, limpias, ordenadas y bien iluminadas? ¿Hay buena calidad de aire y el nivel de ruido es bajo?	○	○
4.	¿Un sistema de señales visuales identifica y ubica inventarios, herramientas, procesos y flujos?	○	○
5.	¿Todo tiene un lugar y cada cosa se guarda en su sitio?	○	○
6.	¿Se publican en lugar visible metas operativas y medidas de desempeño actualizadas?	○	○
7.	¿Los materiales para la producción se traen y se guardan junto a las líneas en lugar de hacerlo en zonas separadas de almacenamiento de inventarios?	○	○
8.	¿En todos los espacios de trabajo son visibles las instrucciones laborales y las especificaciones de calidad de los productos?	○	○
9.	¿Están a la vista de todos los equipos, tablas actualizadas de productividad, calidad, seguridad y solución de problemas?	○	○
10.	¿El estado actual de la operación es visible desde una sala central de control, una pizarra de estados o una pantalla de cómputo?	○	○
11.	¿Las líneas de producción están asignadas a un proceso de ritmo uniforme, con niveles de inventarios apropiados para cada fase?	○	○
12.	¿Los materiales se trasladan una vez y la menor distancia posible? ¿Los materiales se transportan con eficiencia en los recipientes adecuados?	○	○
13.	¿La planta está diseñada en flujos continuos de líneas de productos en lugar de "talleres"?	○	○
14.	¿Hay equipos de trabajo capacitados, facultados y participantes en la solución de problemas y mejoras continuas?	○	○
15.	¿Los empleados están comprometidos con las mejoras continuas?	○	○
16.	¿Hay un calendario visible de mantenimiento preventivo de las máquinas y del mejoramiento continuo de herramientas y procesos?	○	○
17.	¿Hay un proceso eficaz de administración de proyectos, con metas de costos y tiempos, para el lanzamiento de productos nuevos?	○	○
18.	¿Está a la vista un proceso de certificación de proveedores con medidas de calidad, entrega y desempeño de costos?	○	○
19.	¿Están identificadas las principales características de los productos y hay métodos seguros para anticiparse a la propagación de defectos?	○	○
20.	¿Usted compraría los productos que genera esta operación?	○	○
	Total de respuestas afirmativas ________		

Fuente: R. Eugene Goodson, "Read a Plant—Fast", *Harvard Business Review* 80, núm. 5, mayo de 2002, p. 109.

ILUSTRACIÓN 13A.10 Hoja de calificación.

Calificación de esbeltez

Planta:

Fecha de visitas:

Calificada por:

Hoja de calificación de ERP

Los miembros del equipo usaron la hoja de calificación de ERP para evaluar una planta en 11 categorías, con una escala de "deficiente" (1), "excelente" (9) y "lo mejor de su clase" (11). La calificación total de todas las categorías va de 11 (deficiente en todas las categorías) a 121 (lo mejor del mundo en todas las categorías), con un promedio de 55. Los factores que se consideran al calificar una planta en cada categoría se describen en este mismo capítulo. Una lista más detallada de los factores que se evalúan se encuentra en internet, en www.bus.umich.edu/rpa. La hoja de calificación guía también a los miembros del equipo para que formulen las preguntas del cuestionario ERP (ilustración 13A.9) que se relacionan en particular con cada categoría.

Cuando las plantas se califican todos los años, las calificaciones de la mayoría tienden a mejorar. Lo común es que las calificaciones se comuniquen a las plantas y motiven a los gerentes a mejorar primero en las categorías que tuvieron las calificaciones más bajas.

Categorías	Preguntas relacionadas en el cuestionario ERP	Ratings						
		Deficiente (1)	Debajo del promedio (3)	Promedio (5)	Arriba del promedio (7)	Excelente (9)	Lo mejor de su clase (11)	Calificación de la categoría
1 Satisfacción de los clientes	1, 2, 20							
2 Seguridad, ambiente, limpieza y orden	3-5, 20							
3 Sistema visual de administración	2, 4, 6-10, 20							
4 Sistema de programación	11, 20							
5 Uso de espacios, movimiento de materiales y flujo en las líneas de productos	7, 12, 13, 20							
6 Niveles de inventario y procesos por terminar	7, 11, 20							
7 Trabajo en equipo y motivación	6, 9, 14, 15, 20							
8 Condición y mantenimiento de máquinas y herramientas	16, 20							
9 Gestión de la complejidad y variabilidad	8, 17, 20							
10 Integración de la cadena de suministro	18, 20							
11 Compromiso con la calidad	15, 17, 19, 20							
							Calificación total de las 11 categorías ________ (máx = 121)	

Fuente: R. Eugene Goodson, "Read a Plant—Fast", *Harvard Business Review* 80, núm. 5, mayo de 2002, p. 108.

6. Análisis avanzado:
   a) Con los resultados obtenidos al llenar el cuestionario referente a lo esbelto y las observaciones de su equipo, califiquen por consenso cada aspecto del cuestionario de ERP. (Hay muchos factores cuantificables para evaluar el desempeño de las 11 categorías en la hoja de calificación. Se presentan en el sitio electrónico de Goodson: www.bus.umich.edu/rpa)
   b) Jerarquice las áreas de oportunidad para la administración.
   c) Desarrolle un plan de acción de dos páginas que le presentaría a la administración para ayudarla a hacer mejoras.

Cuestionario

1. Mencione las tres categorías de consultores.
2. Este tipo de proyecto requiere gran experiencia pero poca innovación.
3. La compañía Accenture es muy conocida por este tipo de método para capacitar consultores.
4. ¿Para qué nivel de consultor suele ser mayor la utilización de objetivos?
5. McKinsey las emplea para estructurar o esquematizar los problemas fundamentales por investigar.
6. Son las cinco fuerzas del modelo de cinco fuerzas.
7. El análisis de la diferencia mide las distinciones entre estos dos factores.
8. Esta variable se mide con una evaluación rápida de la planta.
9. Un método de contabilidad para reflejar las necesidades de cada accionista se llama así.
10. En contraste con la ACT, este método pretende cambios radicales mediante innovaciones.

1. Buscadores, cuidadores y machacadores 2. "Cabello canoso" 3. Métodos uniformes 4. Nivel junior 5. Árboles de problemas 6. Poder del comprador, entrantes potenciales, proveedores, productos sustitutos y rivales de la industria 7. Desempeño real y deseado 8. Esbeltez de una planta 9. Indicador balanceado del desempeño 10. Reingeniería de un proceso de negocios

Bibliografía seleccionada

Chase, R. y K. R. Kumar, "Operations Management Consulting", en L. E. Greiner y F. Poulfelt, *The Contemporary Consultant: Handbook of Management Consulting,* Mason, Ohio, Thompson South-Western, 2005, pp. 115-132.

Deimler, M. S., *The Boston Consulting Group on Strategy: Classic Concepts and New Perspectives,* 2a. ed., Nueva York, Wiley, 2006.

George, M. L., *Lean Six Sigma: Combining Six Sigma Quality with Lean Speed,* Nueva York, McGraw-Hill, 2002.

Goodson, R. E., "Read a Plant—Fast", *Harvard Business Review* 80, núm. 5, mayo de 2002, pp. 105-113.

Greiner, L. E. y F. Poulfelt (eds.), *The Contemporary Consultant: Handbook of Management Consulting: Insights from World Experts,* Mason, Ohio, Thomson, South-Western, 2005.

Hammer, M. y J. Champy, *Reengineering the Corporation: A Manifesto for Business Revolution,* Nueva York, Harper Business, 1993.

Hoovers.com, sitio de internet de Consulting Industry Financials, 2009.

Maister, D. H., *Managing the Professional Service Firm,* Nueva York, The Free Press, 1993.

Rasiel, E. M., *The McKinsey Way: Using the Techniques of the World's Top Strategic Consultants to Help You and Your Business*, Nueva York, McGraw-Hill, 1998.

sección 4

PLANIFICACIÓN DE OFERTA Y DEMANDA

PARA DIRIGIR UNA EMPRESA, LAS COMPUTADORAS HACEN MÁS QUE PROCESAR TEXTOS Y ENVIAR MENSAJES DE CORREO ELECTRÓNICO

Para operar un negocio se requiere un gran sistema de planificación. ¿Qué esperamos vender? ¿A cuántas personas más debemos contratar para la temporada navideña? ¿Cuánto inventario se necesita? ¿Qué se debe fabricar hoy? Esta sección analiza varias estrategias para resolver estas interrogantes. Lo común es emplear software muy completo, pero es importante entender los conceptos básicos de una planificación en que se basan la compra y la configuración correcta del software apropiado. Además, con este conocimiento básico se crean hojas de cálculo para situaciones sencillas de planificación de producción.

Capítulo 14

SISTEMAS DE PLANIFICACIÓN DE RECURSOS DE LA EMPRESA

Crisis de información: el escritorio perdido

—Hola, Jerry, ¿qué hay?

—¡Te diré qué hay! Se trata de 20 000 dólares. Perdimos el escritorio para ese abogado en Atlanta. ¿Te acuerdas?, el que se suponía que se enviaría hace un par de semanas. El abogado me llamó ayer y me dijo que ya era demasiado. Me recordó todas las demoras que hemos tenido desde la primera vez que hizo el pedido. Le recordé todos los cambios que él quiso que se hicieran. Me replicó que la última notificación que recibió después del cambio final fue que el escritorio estaría allí la semana pasada, a más tardar. Pues bien, no nos creyó, así que pospuso una reunión social importante hasta esta semana para que el escritorio estuviera allí. Dejé de recordarle los problemas y le dije que averiguaría qué estaba sucediendo.

Jerry no estaba nada contento.

—¿Qué averiguaste?

—Nada. Ayer en la noche fui a la tienda y no encontré el escritorio. Te llamé a tu casa, pero creo que seguías de vacaciones.

—A ver, un momento, ir a casa de mis suegros a intercambiar las fotografías de la playa que tomamos ellos y nosotros no es exactamente prolongar mis vacaciones. ¿Cómo diablos pudimos perder el escritorio de un abogado?

Billy estaba molesto.

—No sé, ni los dos empleados con quienes hablé en la tienda. Dijeron que ayer todavía estaba allí. Vamos, ¿qué está pasando? —le preguntó a Jerry.

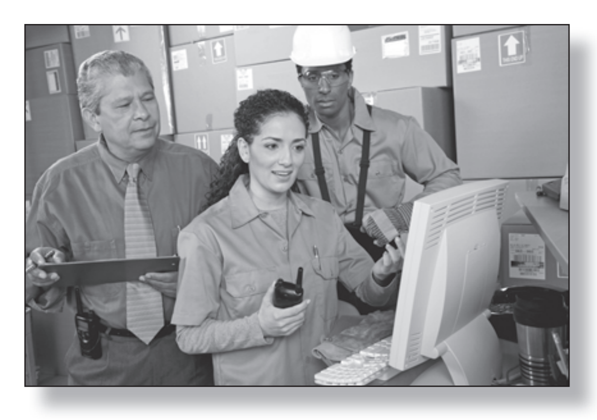
—Vaya, ahora lo recuerdo. Hubo una demora debido al cambio de último momento en el hardware que quiere el cliente. Recuerda, averiguamos que el vendedor no lo podía enviar hasta la semana pasada y necesitábamos tiempo para asegurarnos de que el acabado estuviera bien. Cuando pasamos el sistema MRP para verificar los programas, me enteré de que el escritorio no se enviaría sino hasta finales de la semana pasada, pero no fue así. Debió salir ayer, ya tarde. Voy a investigar y te aviso.

De regreso en su oficina, Billy buscó el registro del escritorio y se enteró de que el pedido estaba cerrado. Buscó en el archivo del historial y averiguó que en realidad el escritorio se había enviado el día anterior, ya tarde, y estaba cancelado en los libros de producción. Para él era un misterio: no sabía por qué el personal de ventas ignoraba que ya se había enviado. Llamó a la compañía de transportes y les preguntó dónde estaba el embarque. Esperaba que le dijeran que lo averiguarían y le llamarían después, pero le sorprendió mucho cuando de inmediato le informaron que habían recogido el embarque el día anterior, ya tarde, que el camión había salido a Raleigh, en donde lo esperaba otro embarque con destino a Atlanta y que en ese momento el camión se encontraba

Fuente: F. R. Jacobs y D. C. Whybark, *Why ERP? A Primer on SAP Implementation,* Nueva York, Irwin/McGraw-Hill, 2000, pp. 10-11.

Después de leer este capítulo, usted:

1. Entenderá el ámbito de los sistemas de planificación de recursos de empresas (ERP).
2. Reconocerá la estructura de cliente/servidor de sistemas ERP.
3. Relacionará el valor de la información integrada en una empresa compleja.
4. Identificará los desafíos asociados a la instrumentación de sistemas ERP.



en la carretera de circunvalación en las afueras de Atlanta. El empleado se disculpó y dijo que tal vez no harían la entrega antes del mediodía. Debían entregar primero el otro embarque. Por último, el empleado anotó el número de teléfono de Billy y le dijo que lo llamaría si había alguna demora para entregarle el embarque al cliente para mediodía.

—¿Por qué nosotros no podemos hacer eso? —se preguntó Billy.

Llamó a Jerry y le pidió que llamara al abogado para informarle que podía seguir adelante con su fiesta. Después le preguntó por qué el embarque nunca se capturó en el sistema de ventas. Y Jerry respondió:

—Según parece, no lo registraron el día de ayer. Tal vez todavía está en algún escritorio. Lo averiguaré, pero lo que en realidad me preocupa más es no haberme enterado de la demora hace dos semanas, cuando tú lo notaste.

—Me pregunto si es un problema que proviene de una falta de integración —murmuró Billy mientras empezaba a enterarse de cuántos pronósticos más tenía la compañía para el siguiente mes.

Planificación de recursos de una empresa (ERP)

La historia del escritorio perdido describe una situación en una compañía donde no está integrada la información. Un sistema de **planificación de recursos de una empresa** (**ERP**, por sus siglas en inglés), cuando se aplica en la forma correcta, conecta todas las áreas del negocio. El área de manufactura se entera de los nuevos pedidos tan pronto como se registran en el sistema; la de ventas conoce la situación exacta del pedido de un cliente; la de compras sabe al minuto lo que necesita manufactura y el sistema contable se actualiza a medida que ocurren todas las operaciones pertinentes. Los beneficios potenciales son considerables. Tan solo los ahorros en envíos redundantes de información ahorran millones de dólares al año. Sin embargo, el valor real se encuentra en las nuevas formas en que una compañía hace negocios. Simplemente se eliminan muchas labores redundantes. El tiempo para desempeñar las actividades restantes se reduce considerablemente debido a la rápida disponibilidad de información. Con un sistema ERP bien diseñado son posibles nuevas formas de dirigir el negocio. Por supuesto, eso no se logra sin un costo. Los sistemas ERP son complicados y quizá requieran cambios importantes en los procesos.

El propósito de este capítulo es proporcionar una perspectiva de lo que es un sistema ERP y por qué beneficia a una empresa. Los vendedores de ERP actuales establecieron nuevos estándares en la integración de la información. En este capítulo se revisará la compañía SAP AG y su producto principal, R/3. La finalidad no es promover el producto de SAP como el único producto de software que debe considerar una empresa; en cambio, es una buena referencia para comparar otros productos de la competencia.

La ilustración 14.1 enlista las principales empresas que desarrollan el software ERP. En cierto sentido se puede afirmar que SAP AG estaba en el lugar apropiado en el momento apropiado.

A principios de la década de 1990, muchas empresas grandes comprendieron que había llegado el momento de actualizar sus sistemas de información para aprovechar las nuevas

ILUSTRACIÓN 14.1
Principales empresas de desarrollo de software de planificación de recursos empresariales.

Vendedor	Características especiales del software	Sitio web
INFOR/SSA Global	Selección muy completa de software para fabricación discreta y del proceso	http://ssaglobal.com/solutions/erp
i2 Technologies	Pronósticos; ritmo de producción	http://www.i2.com
JDA	Oferta y demanda, industria en cadena, suite especializada	http://www.jda.com/solutions
Oracle	Sistema completo; principales vendedores de bases de datos	http://www.oracle.com
SAP	Cliente integrado/sistema de servidor	http://www.sap.com
SCLogix	Optimización de la función de logística	http://www.sclogix.com

tecnologías. El mantenimiento y ensamble de programas en lenguajes de programación como COBOL, PL1 y RPG eran cada vez más costosos. Además, la tecnología de las computadoras centrales no era eficaz en relación con el costo, en comparación con las computadoras basadas en microprocesadores, más potentes y económicas. El cambio era inevitable y SAP ofrecía una solución completa.

SAP

SAP AG, empresa alemana, es la líder mundial que ofrece software ERP. Su producto principal se conoce como R/3. El software está diseñado para operar en una configuración de tres hileras de cliente/servidor. Como se muestra en la ilustración 14.2, el aspecto fundamental del sistema es una red de alta velocidad de servidores de base de datos. Esos servidores de base de datos son computadoras especiales diseñadas para manejar en forma eficiente una considerable base de datos de información. La aplicación, que consiste en los módulos de software que se estudian en la siguiente sección, se opera en computadoras separadas. Las aplicaciones se colocan en red alrededor del grupo de la base de datos y tienen un acceso independiente a ella. Los usuarios se comunican con las aplicaciones mediante servidores del lado del cliente.

Global

Las aplicaciones están totalmente integradas, de manera que los datos se comparten entre todas las aplicaciones. Por ejemplo, si un empleado introduce una operación en el módulo de Ventas y Distribución, la operación se ve de inmediato en Cuentas por Pagar en el módulo de Contabilidad Financiera y en Administración del Inventario en el módulo de Administración de Materiales. El módulo de Manufactura y Logística tiene aplicaciones que respaldan virtualmente todos los temas mencionados en este libro.

Gran parte del éxito del producto se debe a la amplia cobertura de aplicaciones de negocios. En cierto sentido, SAP cambió el aspecto de la tecnología de la información. Ahora se tienen sistemas de integración de toda la empresa en los que solo se soñaba hace unos años. Las empresas pueden considerar la automatización de sus procesos de negocios básicos como si fuera un servicio público, como electricidad o agua. Se conectan y vuelven al negocio desafiante real que tienen entre manos.

Por supuesto, en realidad no es tan sencillo. El problema es que muchas aplicaciones no están alineadas con la forma como opera una compañía. Los consultores de SAP argumentan que una empresa que desea utilizar SAP necesita cambiar sus prácticas a las que diseñan los programadores de SAP.

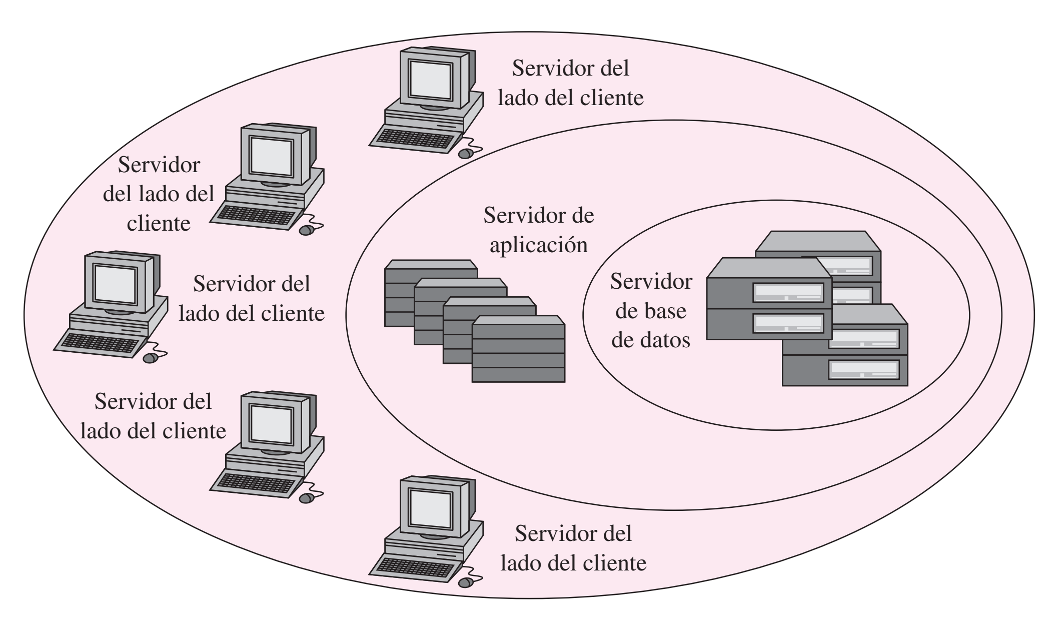


ILUSTRACIÓN 14.2 Configuración de tres hileras de cliente/servidor.

ILUSTRACIÓN 14.3
Aplicaciones de SAP para empresas.

Principales aplicaciones funcionales

Financieras

Administración de capital humano

Operaciones
Administración de relaciones con el cliente
Manufactura
Administración de la cadena de suministro
Administración de relaciones con el proveedor
Administración del ciclo de vida del producto
Aplicación móvil de negocios

Servicios corporativos
Administración de servicios y activos

Integración de oficina Duet-Microsoft

Módulos de aplicación de SAP

El software se elabora en torno a una serie muy completa de módulos de aplicación para usarse ya sea solos o en combinación. La ilustración 14.3 muestra los principales módulos que ofrece SAP. Los módulos sirven para respaldar procesos que abarcan diferentes áreas funcionales en la empresa. Como los módulos están integrados y comparten una base de datos común, las operaciones procesadas en un área se actualizan de inmediato en todas las demás. Por ejemplo, si se recibe un pedido de un cliente a través de internet, contabilidad, programación de producción y compras se enteran de inmediato del pedido y de su efecto sobre sus áreas.

Una característica significativa que mejora el acceso a la información en el sistema es el *almacén de datos*. El apartado de Innovación titulado "Almacén de información abierta" muestra un ejemplo de su funcionamiento.

En el repaso de los módulos de aplicación de SAP (vea la ilustración 14.3), el énfasis consiste en lo que esos módulos hacen realmente, no en los aspectos técnicos de cómo se comunican entre sí. Los aspectos técnicos de la instrumentación del SAP de este software son interesantes, en particular si estudia en el área de sistemas de información. Gran parte de la información sobre los aspectos técnicos del software está disponible en la página de SAP en la web (http://www.sap.com).

Las aplicaciones SAP giran en torno a escenarios probables en un negocio. Por ejemplo, un escenario cubierto en la suite de admi-

Innovación

Almacén de información abierta

Toda base de datos moderna le permitirá formular fácilmente una indagación SQL como: "¿cuántas ventas tuvo mi compañía en Italia en 1997?" Un reporte generado en respuesta a esa indagación puede ser como el siguiente:

Región	T1	T2	T3	T4	Total
Umbria	1 000	1 200	800	2 000	5 000
Toscana	2 000	2 600	1 600	2 800	9 000
Calabria	400	300	150	450	1 300
Total	3 400	4 100	2 550	5 250	15 300

Pero las cosas se complican si, por ejemplo, después se quiere utilizar esa respuesta como base para *profundizar* con el fin de ver las ventas de diferentes trimestres y representantes de ventas en las diversas regiones. Profundizar significa descender a través de una jerarquía para obtener cada vez más detalles.

En el siguiente ejemplo se profundizará por la jerarquía de ventas (los representantes de ventas en Toscana). Parece que a las ventas del signore Corleone no les afectó la temporada de vacaciones del tercer trimestre.

Ventas	T1	T2	T3	T4	Total
S. Paolo	500	600	300	500	1 900
S. Vialli	700	600	200	700	2 200
S. Ferrari	600	700	400	700	2 400
S. Corleone	200	700	700	900	2 500
Total	2 000	2 600	1 600	2 800	9 000

En este punto se puede cambiar a otra dimensión, por ejemplo, de ventas representativas a producto vendido. A esto con frecuencia se le conoce como *dividir y cortar*.

Producto	T1	T2	T3	T4	Total
X-11	2 000	2 500	1 500	3 500	9 550
Z-12	1 400	1 600	1 050	1 700	5 750
Total	3 400	4 100	2 550	5 250	15 300

Desde el punto de vista del analista de datos, ahora es útil verificar las ventas de productos particulares en cada región. SAP permite que el usuario final lo haga fácilmente mediante el enfoque del almacén de datos incorporado en el sistema.

Fuente: Este ejemplo proviene de C. Heinrich y M. Hofmann, "Decision Support from the SAP Open Information Warehouse", sitio web de SAP, http://www.sap.com

nistración de relaciones con el cliente es el de un vendedor que viaja para visitar a los clientes y toma pedidos de manera periódica. El seguimiento de esas visitas, las tendencias de los pedidos del cliente y las expectativas se respaldan con una aplicación de la suite. Además, la aplicación de negocios móvil respalda los pedidos que se registran en un dispositivo móvil, como Palm o Blackberry. Literalmente, este software respalda 1 000 escenarios. Los clientes necesitan elegir las aplicaciones que mejor se ajusten a sus necesidades. SAP desarrolla sin cesar nuevas aplicaciones para diferentes escenarios, de manera que su software sea aplicable a un grupo más amplio de clientes.

Las aplicaciones fundamentales de EPR son “Finanzas”, “Administración de capital humano”, “Operaciones” y “Servicios corporativos”. Todas ellas son pertinentes en muchas empresas grandes. A continuación se describe brevemente la funcionalidad de esas aplicaciones. SAP indica que los módulos se actualizan dos veces al año, con base en los cambios en las prácticas de negocios, avances tecnológicos y requerimientos de clientes.

FINANZAS

La aplicación financiera proporciona la funcionalidad para ejecutar las cuentas financieras de la compañía. Esta aplicación se divide en tres áreas. El módulo de contabilidad financiera y administrativa incluye el libro mayor, cuentas por pagar, cuentas por cobrar e inversiones de capital. También hay procedimientos para cerrar los libros mensuales y anuales, y para preparar los estados financieros, incluso el balance. La segunda área es gobierno corporativo, que incluye el control interno y las funciones de auditoría necesarios para apegarse a los estándares de control corporativo, documentación de controles internos y auditorías de conformidad con los requerimientos actuales. La tercera área es administración financiera de la cadena de suministro, diseñada para manejar el flujo de dinero relacionado con las actividades de la cadena de suministro. Esto abarca administración del crédito de clientes y proveedores, banca interna, administración del flujo de efectivo y administración de relaciones con el banco.

ADMINISTRACIÓN DE CAPITAL HUMANO

Las aplicaciones en este segmento incluyen toda la serie de capacidades necesarias para administrar, programar, pagar y contratar a las personas que hacen funcionar a una empresa. Abarcan nómina, administración de prestaciones, administración de datos de aplicación, planificación de desarrollo personal, planificación de la mano de obra, planificación de programas y cambios, administración del tiempo y contabilidad de gastos de viaje. Las funciones de “administración de talentos” pretenden contribuir a alinear las metas de los empleados con las metas corporativas, y maximizar así el impacto de la capacitación mediante la correspondencia de los empleados con los programas patrocinados. En la aplicación también están la determinación y el seguimiento integrados de metas. Las aplicaciones del “despliegue de mano de obra” contribuyen a colocar a las personas apropiadas con las capacidades adecuadas en los puestos en la empresa. Los equipos de administración del proyecto, la supervisión del avance de los proyectos y el tiempo de seguimiento tienen un respaldo en la aplicación.

OPERACIONES

Cadena de suministro

El segmento de operaciones es complejo e incluye muchas aplicaciones. Las aplicaciones básicas de “Abastecimiento y logística” incluyen administración de materiales, mantenimiento de la planta, administración de la calidad y planificación y control de producción. La administración de materiales cubre todas las tareas de la cadena de suministro, como compras, evaluación del vendedor, verificación de facturas y planificación de la utilización de materiales. También incluye administración del inventario y del almacén.

El mantenimiento de la planta respalda las actividades asociadas a la planificación y desempeño de reparaciones, y mantenimiento preventivo. Se dispone de reportes de terminación y costo. Se pueden administrar y medir las actividades de mantenimiento.

La capacidad de administración de la calidad planea y pone en marcha procedimientos de inspección y seguridad de la calidad, y cumple con las especificaciones ISO 9001. Está integrada

con los procesos de obtención y producción, de manera que el usuario identifica los puntos de inspección tanto de los materiales de entrada como de los productos durante el proceso de fabricación.

La planificación y control de la producción respalda los procesos de fabricación, tanto discretos como del proceso de manufactura. Se proporcionan enfoques repetitivos y de configuración según el pedido. Esta serie de módulos apoya todas las etapas de manufactura, lo que nivela la capacidad y planificación de requerimientos, planificación de requerimientos de materiales, costo del producto, cuentas del procesamiento del material y administración de cambio de ingeniería.

Aquí también se incluyen las aplicaciones de ventas y distribución. En estas aplicaciones se manejan administración de pedidos de ventas, administración de configuración, control de distribución de exportaciones y administración de envíos y transportación. Estas aplicaciones, lo mismo que las demás, se pueden implantar en el ámbito global para permitir al usuario administrar el proceso de ventas en todo el mundo. Por ejemplo, si se recibe un pedido en Hong Kong y no se dispone en la localidad de los productos, pueden obtenerse internamente en los almacenes en otras partes del mundo y se envían para que lleguen juntos a la ubicación del cliente en Hong Kong.

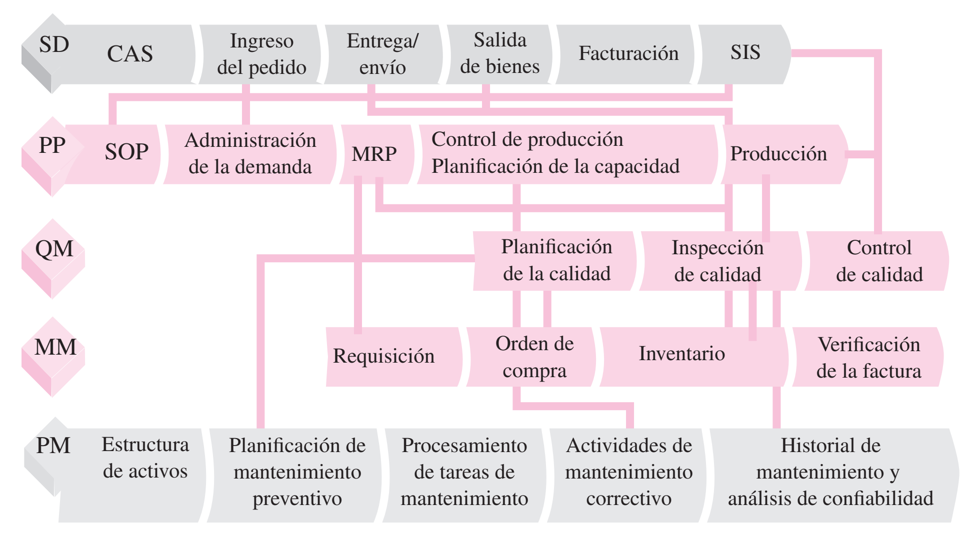
En ventas y distribución, los productos o servicios se venden a los clientes. Al implantar el módulo (lo mismo que en otros módulos), la estructura de la empresa debe representarse en el sistema de manera que, por ejemplo, SAP sepa dónde y cuándo reconocer el ingreso. Es posible representar la estructura de la empresa desde el punto de vista de contabilidad, administración de materiales o ventas y distribución. Esas estructuras también se combinan.

Cuando se ingresa un pedido de venta, automáticamente se incluye la información correcta sobre fijación de precios, promociones, disponibilidad y opciones de envío. Se dispone de un procesamiento de pedidos por lote para industrias especializadas, como la alimentaria, farmacéutica o de productos químicos. Los usuarios reservan el inventario para clientes específicos, solicitan la producción de subensambles o ingresan pedidos que se ensamblan o elaboran a la medida, o cuya ingeniería es a la medida, así como pedidos especiales ajustados a necesidades específicas. La ilustración 14.4 describe los complejos vínculos de datos entre los módulos necesarios para integrar la información administrada por el sistema.

Servicios corporativos

Las aplicaciones de servicios corporativos están diseñadas para administrar servicios tanto centralizados como descentralizados. Esto incluye la administración de la cartera de bienes

ILUSTRACIÓN 14.4
Perspectiva de integración de la logística.



Fuente: Copyright de SAP AG. Impresa con autorización.

raíces de la empresa, como adquisición y venta de propiedades, administración de propiedades, operaciones y mantenimiento de edificios y reporte de inversiones. Otro aspecto importante de los servicios corporativos es la administración de viajes. Esto apoya todos los aspectos de los viajes, como solicitudes y aprobaciones de viajes mediante la administración de planificación y reservaciones.

Servicio

Los módulos del sistema se elaboran conforme a las que SAP considera las mejores prácticas. SAP cuenta con un grupo de investigación y desarrollo que busca continuamente formas mejores de efectuar un proceso o subproceso particulares. Las mejoras del sistema están diseñadas para reflejar las mejores y más recientes prácticas.

mySAP.com y SAP NetWeaver: aplicaciones integradas para empresas electrónicas

La estrategia de SAP es crear un software con una serie de soluciones de negocios en torno a las aplicaciones. Cada solución está diseñada para un propósito específico. Todas las soluciones se aplican mediante una interconexión en internet. SAP ofrece versiones mySAP de las aplicaciones programadas para trabajar en internet, lo que permite a los usuarios contar con toda la funcionalidad del software SAP sin requerir el despliegue de ningún software especial para usuarios. El usuario solo necesita un navegador de internet para acceder al sistema. Con el fin de simplificar todavía más la instalación, una empresa siempre puede recurrir totalmente a fuentes externas que se encarguen de operar el software de SAP mediante un proveedor especializado en SAP por internet.

El término **computación en red con servidores remotos** se refiere a entregar servicios guardados en un computador central en internet. Un servicio en red con servidores remotos tiene tres características que lo distinguen de un computador central tradicional. Se vende según se demande, por lo general por minuto o por hora; es elástico, es decir, un usuario puede tener tanto de un servicio como lo desee en cualquier momento; además, el servicio se maneja enteramente por el proveedor (el cliente solo necesita una computadora personal y acceso a internet). Este tipo de servicio reduce considerablemente el costo del ERP para empresas pequeñas y medianas.

En muchos casos, los usuarios tal vez deseen elaborar sus propias aplicaciones en internet además de las de SAP. Esto se logra con NetWeaver. La ilustración 14.5 muestra una aplicación

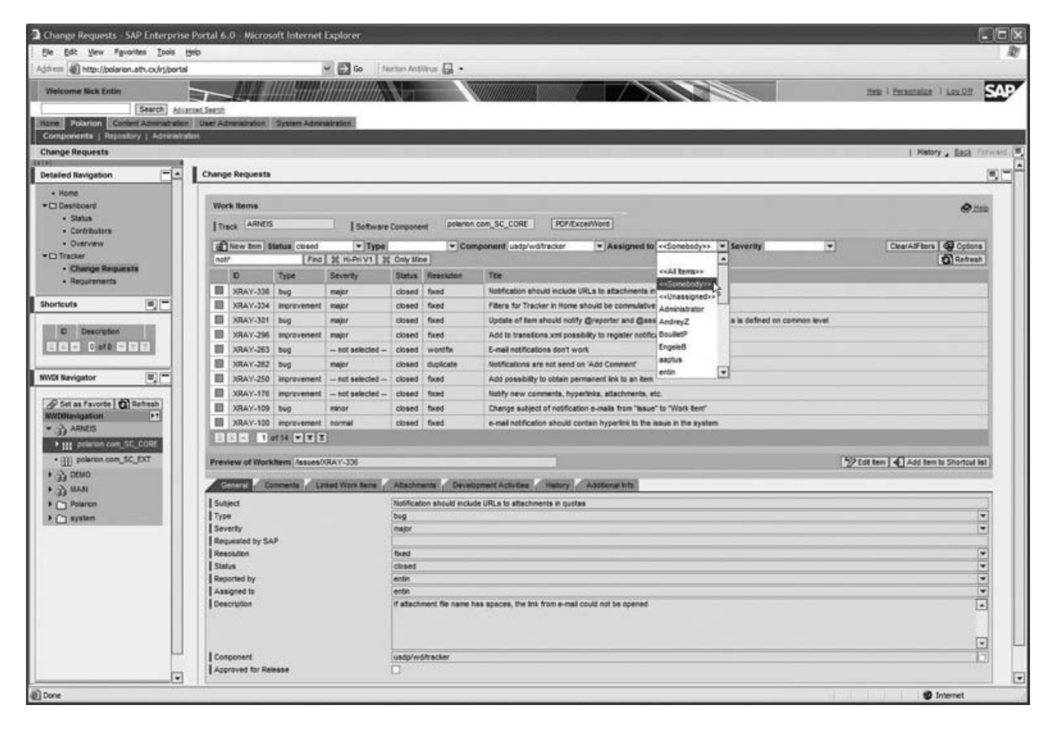


ILUSTRACIÓN 14.5
NetWeaver de SAP.

de NetWeaver que administra las solicitudes de cambio. Mediante NetWeaver, los usuarios dentro de una empresa y los vendedores, como terceras partes, ofrecen una variedad ilimitada de aplicaciones especializadas para satisfacer las necesidades. Muchas aplicaciones de NetWeaver están diseñadas para la necesidad de proveedores y clientes de datos que se mantienen mediante el sistema de ERP. Además, con NetWeaver se programan aplicaciones de ERP que necesitan una información especial de quienes están fuera de la empresa.

Para ilustrar cómo SAP atiende los temas cubiertos en los capítulos de esta sección del libro se presenta el producto de administración de la cadena de suministro (ACS). SAP, al igual que la organización de los temas en esos capítulos, organiza su software en escenarios de planificación que representan las necesidades básicas de las empresas. En ACS, los escenarios de planificación se llaman "planificación colaborativa de la demanda", "planificación de ventas y operaciones" y "planificación de colaboración del suministro y la distribución".

La planificación de la demanda de ACS es básicamente un juego de herramientas de técnicas y características de planificación de pronósticos estadísticos que ayuda al usuario a crear estimados precisos de requerimientos futuros. Esas técnicas son el tema del capítulo 15, "Administración y pronóstico de la demanda". El software ofrece visibilidad en todos los niveles de detalles mediante la tecnología del almacén de datos que se describen en el recuadro de Innovación anterior. El software incluye técnicas de serie de tiempo, como suavización exponencial, con índices de tendencias y de temporada. En las herramientas hay análisis causales, en donde se consideran factores como precio, número de tiendas o demografía. SAP también ofrece una serie de herramientas de planificación de colaboración instaladas mediante formatos en internet como parte del paquete. El pronóstico de colaboración se analiza en el capítulo 15, junto con las series de tiempo y las técnicas causales.

La planificación de ventas y operaciones es todo el proceso de integrar los planes de ventas y de marketing con planes para producir productos y proporcionar servicios. En el capítulo 16 se cubre este tema y se muestra una técnica para unir la información de la demanda y de las operaciones en un formato de hoja de cálculo. SAP utiliza lo que llama "cabina de la cadena de suministro", que consiste en un panel gráfico de instrumentos configurado para que el usuario vea y administre los elementos básicos de la cadena de suministro.

Un elemento clave de la planeación de ventas y operaciones de SAP es el de las funciones disponibles de planificador y optimizador avanzado (POA). POA es una biblioteca de algoritmos de planificación y optimización muy configurables para proporcionar una mejora específica de la actividad, específica de la industria e incluso específica de la empresa. En el caso de este libro, se elaboraron hojas de cálculo adecuadas a las necesidades de cada problema de planificación y después, se encontraron soluciones a dichos problemas con Solver de Excel® de Microsoft. Este enfoque funciona bien para problemas más pequeños, como los que se tratan en el libro. Las aplicaciones grandes, como las de una empresa real, requieren técnicas más complejas. POA es el software que utiliza SAP para formular y resolver esos problemas. SAP también permite la exportación de datos a Microsoft Excel, lo que posibilita utilizar aplicaciones desarrolladas por el usuario.

El último elemento de ACS es el de funciones de planificación colaborativa de suministro y distribución. Esas funciones permiten al usuario crear planes de compras, manufactura, distribución, inventario y transporte de material. El software apoya diferentes estrategias, como fabricar para abastecer, producir sobre pedido y ensamblar sobre pedido. Por ser un sistema integrado, SAP proporciona una perspectiva de los planes en tiempo real. Cuando cambian los planes y se ejecutan las operaciones reales, se conoce de inmediato el impacto sobre el sistema. La planificación real cuenta con el apoyo de un modo de simulación en donde se observan rápidamente escenarios alternativos. En el capítulo 19A se abarca el tema de la simulación. Además, para optimizar ciertas decisiones se cuenta con técnicas de la biblioteca de POA.

En este libro se abordan los detalles relacionados con estas funciones en los capítulos 17 y 18. La planificación del abastecimiento de seguridad se analiza en el capítulo 17, junto con la lógica para determinar la meta de los niveles de inventario a lo largo de la cadena de suministro. SAP aplica la lógica a un artículo y una ubicación individual mediante la misma lógica descrita en el libro. El caso especial del inventario de producción se cubre en el capítulo 18. El libro describe la lógica de planificación de los requerimientos de material en todos sus detalles

mediante ejemplos relativamente sencillos. En SAP, esta lógica se implanta de modo que apoye la planificación simultánea de miles de artículos.

Implantación de sistemas ERP

SAP tiene una poderosa competencia. Empresas como Oracle, i2 Technologies y PeopleSoft (ahora propiedad de Oracle) han buscado en forma agresiva ese mercado. Sin embargo, SAP es líder con más de 100 000 sitios y más de 12 millones de usuarios en todo el mundo. La instalación de PRE es costosa, con el costo real del software por lo común de una tercera parte o menos del costo total. Empresas grandes, como Chevron Corp y Bristol-Myers Squibb, suelen destinar 250 millones de dólares o más a la instalación de un sistema ERP.

Estos sistemas no siempre dan resultado. Una encuesta de la Harvard Business School reveló que un considerable porcentaje de ejecutivos albergaba sentimientos negativos hacia el software de ERP.[1] En particular, les parecía que 1) la tecnología ERP no podía apoyar sus negocios, 2) sus organizaciones no podían hacer los cambios necesarios para obtener beneficios de los nuevos sistemas y 3) la instalación de la PRE en realidad podría dañar sus negocios. La misma encuesta indicó que muchas empresas que implantaron la ERP se excedieron del costo y de las metas de programación, y no lograron los beneficios que buscaban.

Pese a las reservas acerca de la ERP, la mayoría de las compañías que participaron en la encuesta de Harvard seguía adelante con las iniciativas de la ERP. Entre las razones más comunes se encontraba el deseo de estandarizar y mejorar los procesos, la integración de sistemas y la calidad de la información. Si bien hay pruebas de muchos problemas con la instalación de sistemas de ERP, las empresas siguen adelante con esos esfuerzos debido a la oportunidad de una recompensa sustancial. En la actualidad SAP se orienta a empresas pequeñas y medianas con su producto SAP Business One, que se describe en el apartado de Innovación.

INNOVACIÓN

Innovación

BUSINESS ONE DE SAP

SAP tiene una versión especial de su software para empresas pequeñas y medianas. Business One de SAP ofrece características y funciones de análisis operacional con el fin de ayudar a optimizar la satisfacción total del cliente. La oferta incluye características que apoyan las siguientes actividades de negocios:

- **Supervisión del abastecimiento.** Vigila las operaciones de adquisiciones y proporciona un análisis detallado de las actividades de compras y los procesos de aprovisionamiento.
- **Administración de inventarios y almacenes.** Evalúa la situación real de las existencias de la empresa con base en criterios basados en cantidad y valor. Analiza las actividades del almacén, como el flujo físico de materiales y cargas de trabajo.
- **Reportes de manufactura.** Proporciona diversos informes y análisis estándar con detalles de la información relacionada con la producción.
- **Análisis de cumplimiento del pedido.** Evalúa y mejora el cumplimiento del pedido con indicadores clave del desempeño para la administración de la transportación y los pedidos, mediciones estratégicas del desempeño o estadísticas de distribución necesarias para optimizar la cadena de suministro y mediciones del desempeño operativo que capturan la información cotidiana para optimizar el proceso.
- **Análisis del servicio al cliente.** Supervisa las tendencias financieras, costos e ingresos por cliente, así como los contratos y las operaciones de servicio. La solución también apoya el análisis de la base instalada y proporciona tanto una analítica del cliente como una analítica de la garantía.
- **Administración del programa y del proyecto.** Supervisa y controla los datos del proyecto y los proyectos de evaluación, y permite una ingeniería de diseño con costo para optimizar los costos de producción.
- **Administración de calidad.** Planea, recopila, determina y evalúa los costos relacionados con la calidad. La solución incluye características de administración de la calidad

[1] C. X. Escalle y M. Cotteleer, "Enterprise Resource Planning (ERP)", 9-699-020, Harvard Business School, 11 de febrero de 1999, p. 3.

que proporcionan datos para determinar calificaciones de calidad estándar o definidas por el usuario.

- **Administración de activos de la empresa.** Hace evaluaciones estratégicas, como análisis de tiempo promedio para reparar (TTPR) y tiempo promedio entre reparaciones (TPER).
- **Planificación de ventas.** Determina objetivos de ventas con múltiples dimensiones y cifras clave, integra y consolida la planificación de ventas con marketing o con los planes de servicio, y optimiza la cadena de suministro mediante una planificación de cuentas fuera de línea. La solución permite administrar territorio de acuerdo con regiones, líneas de productos u otras variables, así como planificación y análisis de oportunidades y planificación de sociedades.
- **Análisis de ventas.** Proporciona a las organizaciones de ventas una perspectiva apropiada del desempeño de ventas actual y una perspectiva de la eficacia de la fuerza de ventas.

Resumen

La razón para incluir este capítulo en este punto del libro es para que aprecie que las técnicas descritas en esta sección en la actualidad están disponibles y se emplean en muchas empresas. En las siguientes secciones se habla de herramientas de pronósticos, como promedios móviles y suavización exponencial, y de herramientas de control, como planificación del requerimiento de materiales y programación con la lógica de la primera fecha vencida. Todas esas técnicas se incluyen en los principales paquetes de ERP. Se podría pensar que no es necesario aprender cómo funcionan en realidad esas técnicas; no hay más que conectar el sistema ERP y dejar que tome todas las decisiones. Si fuera así de sencillo, nadie tendría trabajo.

En realidad, hay muchas formas de instalar estas técnicas diferentes, y distintas técnicas son aplicables a diferentes tipos de empresas. Por ejemplo, SAP tiene tres formas de calcular pronósticos (vea capítulo 15) y cinco reglas diferentes para calcular el volumen de producción (que se ven en el capítulo 18). De manera que es necesario tomar muchas decisiones para utilizar cualquier sistema en forma apropiada.

Para elegir entre los muchos sistemas ERP disponibles, es necesario evaluar los puntos fuertes y débiles de esas ofertas. i2 Technologies tiene una capacidad de pronóstico muy poderosa, y es conocida por su programación del ritmo de producción. En el capítulo 15 se detallan los diferentes tipos de sistemas de pronósticos, que proporcionan la capacidad de evaluar si las características únicas de la oferta i2 cumplen con lo que necesita la empresa. De igual manera, en el capítulo 18 se estudian todas las reglas del tamaño del lote, y el concepto del ritmo de producción se compara con la planificación tradicional de los requerimientos de materiales (MRP). Con esta información se evalúa si i2 sería buena para una empresa.

Al escribir este capítulo, los autores sentimos la tentación de incluir una extensa comparación de los diversos sistemas ERP disponibles. El problema de hacer eso y publicarlo en un libro de texto es que, para el momento en que se imprima, las comparaciones no estarían actualizadas. La tecnología del software de negocios avanza a un ritmo sorprendente. Cada día hay disponibles nuevos paquetes con algún truco ingenioso que supuestamente hace que sea mejor que el resto. Para empeorar el asunto, a cada vendedor le agrada asignar un nombre a las cosas para dar la apariencia de algo nuevo. En realidad, no hay muchas ideas nuevas; las técnicas convencionales por lo común se reempacan en nuevas formas. En ocasiones se crean formas más eficientes de aplicar esas técnicas. La comprensión de los enfoques convencionales es un primer paso importante para no quedarnos atrás en esta área de rápida expansión de la tecnología del software.

Conceptos clave

Planificación de recursos de una empresa (ERP) Sistema de computadora que integra los programas de aplicación en contabilidad, manufactura y demás funciones de una empresa. Esta integración se logra mediante una base de datos compartida por todos los programas de aplicación.

Computación en red con servidores remotos Término que se refiere a dar servicios de ERP en una computadora central por internet. Esto reduce considerablemente el costo de la ERP.

Preguntas de repaso y análisis

1. ¿Qué característica clave del SAP lo distinguen del software convencional de contabilidad de negocios/ planificación/control?
2. SAP permite instalar por separado los módulos de recursos humanos, contabilidad financiera y manufactura y logística. ¿En qué forma afecta este cambio al proceso de instalación?
3. Muchas empresas toman pedidos de clientes por internet. Póngase en el lugar de la persona en Ford Motor Company que considera este enfoque de aceptar pedidos de clientes para el vehículo deportivo Ford Explorer. ¿Qué información del cliente necesitaría recopilar? ¿Qué información le proporcionaría usted al cliente respecto del pedido? ¿Cómo se utilizaría esa información en Ford Motor Company? ¿Qué problemas importantes anticiparía usted que es necesario resolver antes de la implantación del sistema? Si este proyecto tiene éxito, es decir, si los clientes prefieren hacer el pedido de su Explorer por internet que negociarlo con un distribuidor, ¿cuáles son las implicaciones de largo plazo para Ford Motor Company?

Cuestionario

1. Sistema computarizado que enlaza todas las áreas de una compañía mediante un conjunto integrado de programas de aplicación y una base de datos común.
2. Término con que se describe un sistema de tres pilares donde los programas de base de datos, aplicación y usuario se ejecutan potencialmente en otra computadora.
3. Los programas de aplicación están diseñados de acuerdo con las normas de la industria o las _______________.
4. Verdadero/Falso: Instalar un sistema de ERP es un ejercicio sencillo que comprende cargar software en una computadora.
5. Término que se usa para dar servicios de ERP según demanda por internet.

1. Sistema de planificación de recursos de una empresa (ERP) 2. Configuración cliente-servidor 3. Mejores prácticas 4. Falso 5. Red con servidores remotos

Bibliografía seleccionada

Bendoly, E. y F. R. Jacobs, *Strategic ERP: Extension and Use,* Palo Alto, California, Stanford Press Books, 2005.

Curran, T., G. Keller y A. Ladd, *Business Blueprint: Understanding SAP's R/3 Reference Model,* Upper Saddle River, Nueva Jersey, Prentice Hall, 1998.

Davenport, T. H., "Putting the Enterprise into the System", *Harvard Business Review*, julio-agosto de 1998.

Hernández, J. A., *The SAP R/3 Handbook,* Nueva York, McGraw-Hill, 1997.

Jacobs, F. R. y F. C. Weston, Jr., "Enterprise Resource Planning (ERP)—A Brief History", *Journal of Operations Management* 25, 2007, pp. 357-363.

Jacobs, F. R. y D. C. Whybark, *Why ERP? A Primer on SAP Implementation*, Nueva York, Irwin/McGraw-Hill, 2000.

Madu, C., *ERP and Supply Chain Management,* Fairfield, Connecticut, Chi Publishers, 2005.

Monk, E. y B. Wagher, *Concepts in Enterprise Resource Planning*, 2a. ed., Boston, Course Technology, 2005.

Norris, G., *E-Business and ERP: Transforming the Enterprise*, Nueva York, Wiley, 2000.

Wallace, T. F. y M. H. Kremzar, *ERP: Making It Happen: The Implementer's Guide to Success with Enterprise Resource Planning,* Nueva York, Wiley, 2001.

Capítulo 15

ADMINISTRACIÓN Y PRONÓSTICO DE LA DEMANDA

Almacén de datos de Walmart

El tamaño y poder de Walmart en la industria al menudeo ejercen una gran influencia en la industria de las bases de datos. Walmart maneja uno de los almacenes de datos más grandes del mundo, con más de 35 terabytes de información. Un terabyte es igual a 1 024 gigabytes o un billón de bytes. Es muy probable que usted use una computadora con 500 a 750 gigabytes. La fórmula de Walmart para lograr el éxito: tener el producto apropiado en el anaquel correcto al precio más bajo, se debe en gran parte a su inversión multimillonaria en almacenamiento de datos. Walmart ofrece más detalles que sus competidores en cuanto a lo que sucede con cada producto, en cada tienda y todos los días.

Después de leer este capítulo, usted:

1. Entenderá la función de un pronóstico como base para planificar una cadena de suministro.
2. Comparará las diferencias entre demanda independiente y dependiente.
3. Identificará los componentes básicos de demanda independiente: variación promedio, de tendencia, temporal y aleatoria.
4. Describirá las técnicas comunes de pronóstico cualitativo, como el método Delphi y el pronóstico en colaboración.
5. Demostrará cómo hacer un pronóstico de serie de tiempo con regresión, promedios móviles y suavización exponencial.
6. Usará la descomposición para pronosticar cuándo hay tendencia y estacionalidad.

Los sistemas registran datos de los puntos de venta en cada tienda, niveles de inventario por tienda, productos en tránsito, estadísticas de mercado, características demográficas de los clientes, finanzas, devoluciones de productos y desempeño de los proveedores. La información se utiliza para tres extensas áreas de apoyo para tomar decisiones: analizar tendencias, manejar inventarios y entender a los clientes. Lo que surgen son los “rasgos de la personalidad” de cada una de las aproximadamente 3 000 tiendas de Walmart, con los cuales los gerentes de la compañía determinan la mezcla de productos y la presentación de cada almacén.

Lo que sigue es “minería” de datos. Walmart creó una aplicación de pronóstico de demanda que toma en cuenta los artículos de cada tienda con el fin de decidir su perfil de ventas por temporada. El sistema conserva la información correspondiente a un año sobre las ventas de 100 000 productos y proyecta qué artículos se van a necesitar en cada tienda.

Ahora Walmart realiza un análisis de la canasta básica. Recopila información sobre los artículos que constituyen la compra total de un cliente de modo que pueda analizar las relaciones y patrones en las compras de sus clientes. El almacén de datos está disponible en internet para los gerentes de tienda y proveedores.

Los pronósticos son vitales para toda organización de negocios, así como para cualquier decisión importante de la gerencia. El pronóstico es la base de la planificación corporativa de largo plazo. En las áreas funcionales de finanzas y contabilidad, los pronósticos representan el fundamento para realizar presupuestos y controlar costos. El marketing depende del pronóstico de ventas para planificar productos nuevos, compensar al personal de ventas y tomar otras decisiones clave. Con los pronósticos, el personal de producción y operaciones toma decisiones periódicas que comprenden la selección de procesos, planificación de capacidades y distribución de instalaciones, además de decisiones continuas acerca de la planificación de la producción, programación e inventario.

Pronósticos estratégicos

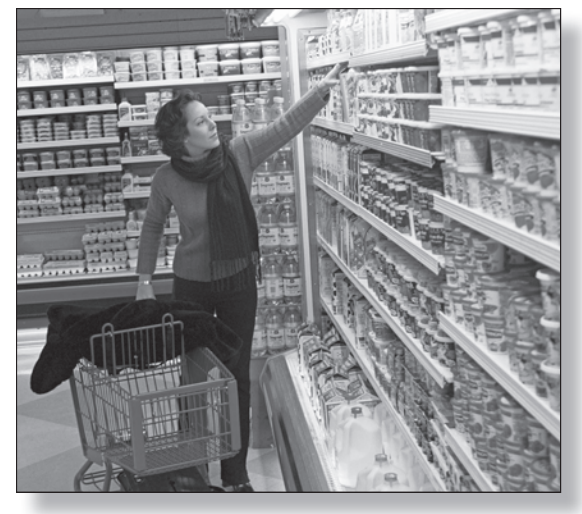
Al elegir el método de pronóstico es importante considerar su propósito. Algunos pronósticos son para análisis de demanda de alto nivel. ¿Qué demanda se espera de un grupo de productos el año próximo, por ejemplo? Algunos pronósticos contribuyen a establecer la estrategia para satisfacer la demanda, en un sentido agregado. Los llamaremos **pronósticos estratégicos**. Respecto del material de este libro, los pronósticos estratégicos son más apropiados al decidir cuestiones relacionadas con la estrategia general (capítulo 2), capacidad (capítulo 4), diseño de procesos de producción (capítulo 6), diseño de procesos de servicio (capítulo 7), adquisiciones (capítulo 11), diseño de ubicación y distribución (capítulo 12), y con planificación de ventas y operaciones (capítulo 16). Todo esto comprende la toma de decisiones para un plazo relativamente largo que tiene que ver con la forma de satisfacer estratégicamente la demanda.

Pronósticos tácticos

Los pronósticos también son necesarios para ver cómo se operan los procesos cotidianos. Por ejemplo, ¿cuándo se repondrá el inventario de un artículo, o cuánta producción de un artículo debemos programar la semana próxima? Se trata de **pronósticos tácticos**, donde el objetivo es estimar la demanda en un término relativamente corto, de unas cuantas semanas o meses. Estos pronósticos son importantes para garantizar que en el corto plazo se satisfagan las expectativas de tiempo de espera de clientes, así como otros criterios relacionados con la disponibilidad de productos y servicios.

Cadena de suministro

En el capítulo 6 examinamos el concepto de puntos de desacoplamiento: puntos de la cadena de suministro en donde se cuenta con inventario para permitir que los procesos o eslabones de la cadena de suministro operen de manera independiente. Por ejemplo, si se surte un producto al minorista, el cliente lo toma del estante y el fabricante nunca ve el pedido de ningún cliente. El inventario actúa como intermedio para separar al cliente del proceso de manufactura. La selección de puntos de desacoplamiento es una decisión estratégica que determina los tiempos de espera del cliente, y ejerce una gran influencia en la inversión de inventarios. Cuanto más cerca se encuentre este punto al cliente, con más rapidez se le atiende. Por lo general hay un punto medio donde la respuesta más rápida a la demanda del cliente llega a expensas de mayor inversión en inventario, porque el inventario de artículos terminados es más costoso que el de materias primas.



Hacer pronósticos es necesario en estos puntos de desacoplamiento para establecer niveles apropiados de inventario para estos espacios de amortiguamiento. La fijación real de estos niveles es tema del capítulo 17, Control de inventarios, pero un elemento esencial en estas decisiones es un pronóstico de demanda esperada y el error esperado que se asocia a esa demanda. Si, por ejemplo, se puede pronosticar demanda con muy buena precisión, los niveles de inventario se establecen de manera precisa según la demanda esperada del cliente. Por otra parte, si es muy difícil pronosticar la demanda de corto plazo, será necesario contar con inventario adicional para cubrir esta incertidumbre.

Servicio

Lo mismo sucede para determinar servicios en donde no hay inventario para amortiguar la demanda. Aquí el problema es la disponibilidad de capacidad respecto de la demanda esperada. Si se predice con muy buena precisión la fijación de un servicio, entonces tácticamente todo lo que se necesita es garantizar la capacidad apropiada en el corto plazo. Cuando la demanda no es predecible, quizá sea necesario un exceso de capacidad si es importante atender rápidamente a los clientes.

Tenga presente que, por lo regular, un pronóstico perfecto es imposible. En un ambiente de negocios hay demasiados factores que no se pueden prever con certeza. Por tanto, en lugar de buscar el pronóstico perfecto es mucho más importante establecer la práctica de una revisión continua de los pronósticos y aprender a vivir con pronósticos imprecisos. Esto no quiere decir que no se trate de mejorar el modelo o la metodología de pronosticar, o se abandone el propósito de tratar de influir en la demanda de modo que se reduzca su incertidumbre. Al hacer pronósticos, una buena estrategia es usar dos o tres métodos y considerarlos con sentido común. ¿Los cambios esperados en la economía general van a afectar el pronóstico? ¿Los cambios del comportamiento de los clientes tendrán efecto en la demanda no captada por los métodos actuales? En este capítulo veremos técnicas tanto *cualitativas*, que apelan al juicio gerencial, como *cuantitativas*, que recurren a modelos matemáticos. Desde nuestro punto de vista, combinar estas técnicas es esencial para un buen proceso de pronóstico apropiado para tomar decisiones.

Administración de la demanda

El propósito del manejo de la demanda es coordinar y controlar todas las fuentes de la demanda, con el fin de usar con eficiencia el sistema productivo y entregar el producto a tiempo.

¿De dónde proviene la demanda del producto o servicio de una empresa, y qué puede hacer para administrarla? Existen dos fuentes básicas de la demanda: dependiente e independiente. La **demanda dependiente** es la demanda de un producto o servicio provocada por la demanda de otros productos o servicios. Por ejemplo, si una empresa vende 1 000 triciclos, entonces se van a necesitar 1 000 ruedas delanteras y 2 000 traseras. Este tipo de demanda interna no necesita un pronóstico, sino solo una tabulación. La cantidad de triciclos que la empresa puede vender es la **demanda independiente** porque no se deriva directamente de la demanda de otros productos.[1] En los capítulos 17 y 18 se analizan más a fondo la dependencia e independencia de la demanda.

Demanda dependiente

Demanda independiente

Una empresa no puede hacer mucho respecto de la demanda dependiente. Es preciso cubrirla (aunque el producto o servicio se pueda comprar en lugar de producirlo en forma interna). Pero una empresa sí puede hacer mucho en cuanto a la demanda independiente, si así lo desea. La compañía puede:

1. **Adoptar un papel activo para influir en la demanda.** La empresa puede presionar a su fuerza de ventas, ofrecer incentivos tanto a los clientes como a su personal, crear campañas para vender sus productos y bajar precios. Estas acciones incrementan la demanda. Por el contrario, la demanda disminuye mediante aumentos de precios o la reducción de los esfuerzos de ventas.
2. **Adoptar un papel pasivo y tan solo responder a la demanda.** Existen varias razones por las que una empresa no trata de cambiar la demanda sino que la acepta tal como llega. Si una compañía funciona a toda su capacidad, tal vez no quiera hacer nada en cuanto a la demanda. Otras razones pueden ser que la compañía no tenga el poder de cambiar la demanda debido al gasto en publicidad; es probable que el mercado sea fijo y estático; o que la demanda esté fuera de su control (como en el caso de un proveedor único). Existen otras razones competitivas, legales, ambientales, éticas y morales para aceptar de manera pasiva la demanda del mercado.

Es necesaria mucha coordinación para manejar estas demandas dependientes, independientes, activas y pasivas. Las demandas se originan tanto interna como externamente en forma de ventas de productos nuevos por parte de marketing, piezas de reparación para productos vendidos con anterioridad, reabastecimiento de los almacenes de la fábrica y suministro de artículos para manufactura. En este capítulo, el interés se centra en el pronóstico relacionado con los productos independientes.

[1] Además de la demanda dependiente e independiente, otras relaciones son las de productos complementarios y relaciones causales, en las que la demanda de una causa la demanda de otra.

Tipos de pronósticos

Los pronósticos se clasifican en cuatro tipos básicos: *cualitativo*, *análisis de series de tiempo*, *relaciones causales* y *simulación*.

Análisis de series de tiempo

Las técnicas cualitativas son subjetivas y se basan en estimados y opiniones. El **análisis de series de tiempo**, enfoque primario de este capítulo, se basa en la idea de que es posible utilizar información relacionada con la demanda pasada para predecir la demanda futura. La información anterior puede incluir varios componentes, como influencias de tendencias, estacionales o cíclicas, y se describe en la sección siguiente. El pronóstico causal, que se analiza mediante la técnica de la regresión lineal, supone que la demanda se relaciona con algún factor subyacente en el ambiente. Los modelos de simulación permiten al encargado del pronóstico manejar varias suposiciones acerca de la condición del pronóstico. En este capítulo se estudian técnicas cualitativas y de series de tiempo, pues son las más comunes en la planificación y control de la cadena de suministro.

Componentes de la demanda

En la mayor parte de los casos, la demanda de productos o servicios se divide en seis componentes: demanda promedio para el periodo, una tendencia, elementos estacionales, elementos cíclicos, variación aleatoria y autocorrelación. La ilustración 15.1 muestra una demanda durante un periodo de cuatro años, así como el promedio, la tendencia y los componentes estacionales o la aleatoriedad alrededor de la curva de la demanda suavizada.

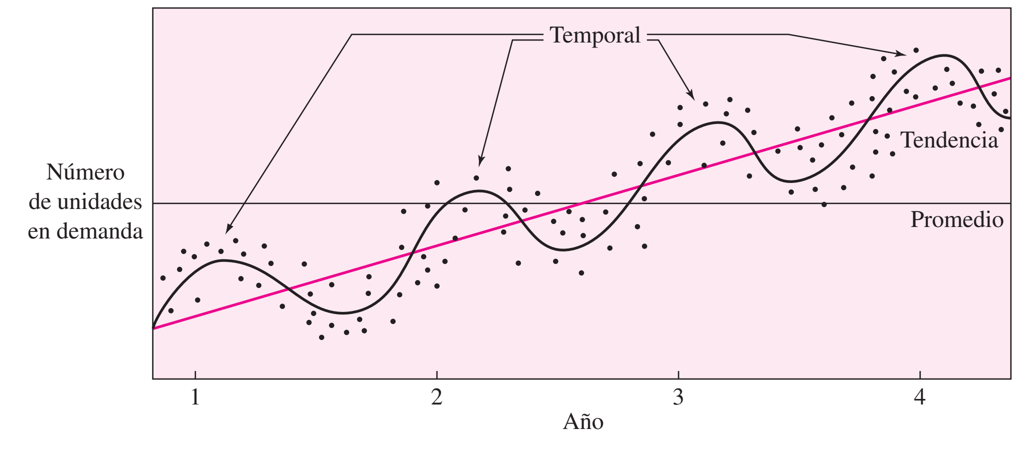
Es más difícil determinar los factores cíclicos porque quizá se desconoce el tiempo o no se toma en cuenta la causa del ciclo. La influencia cíclica sobre la demanda puede provenir de sucesos como elecciones políticas, guerras, condiciones económicas o presiones sociológicas.

Las variaciones aleatorias son provocadas por acontecimientos fortuitos. Estadísticamente, al restar todas las causas conocidas de la demanda (promedio, tendencias, estacionales, cíclicas y de autocorrelación) de la demanda total, lo que queda es la parte inexplicable de la demanda. Si no se puede identificar la causa de este remannete, se supone que es aleatoria.

La autocorrelación indica la persistencia del hecho. De manera más específica, el valor esperado en un momento dado tiene una correlación muy alta con sus propios valores anteriores. En la teoría de la línea de espera, la longitud de una línea de espera tiene una autocorrelación muy elevada. Es decir, si una línea es relativamente larga en un momento determinado, poco después de ese tiempo sería de esperar que la línea siguiera siendo larga.

ILUSTRACIÓN 15.1 Demanda histórica de productos que consiste en una tendencia al crecimiento y una demanda temporal.

Excel: Componentes de la demanda



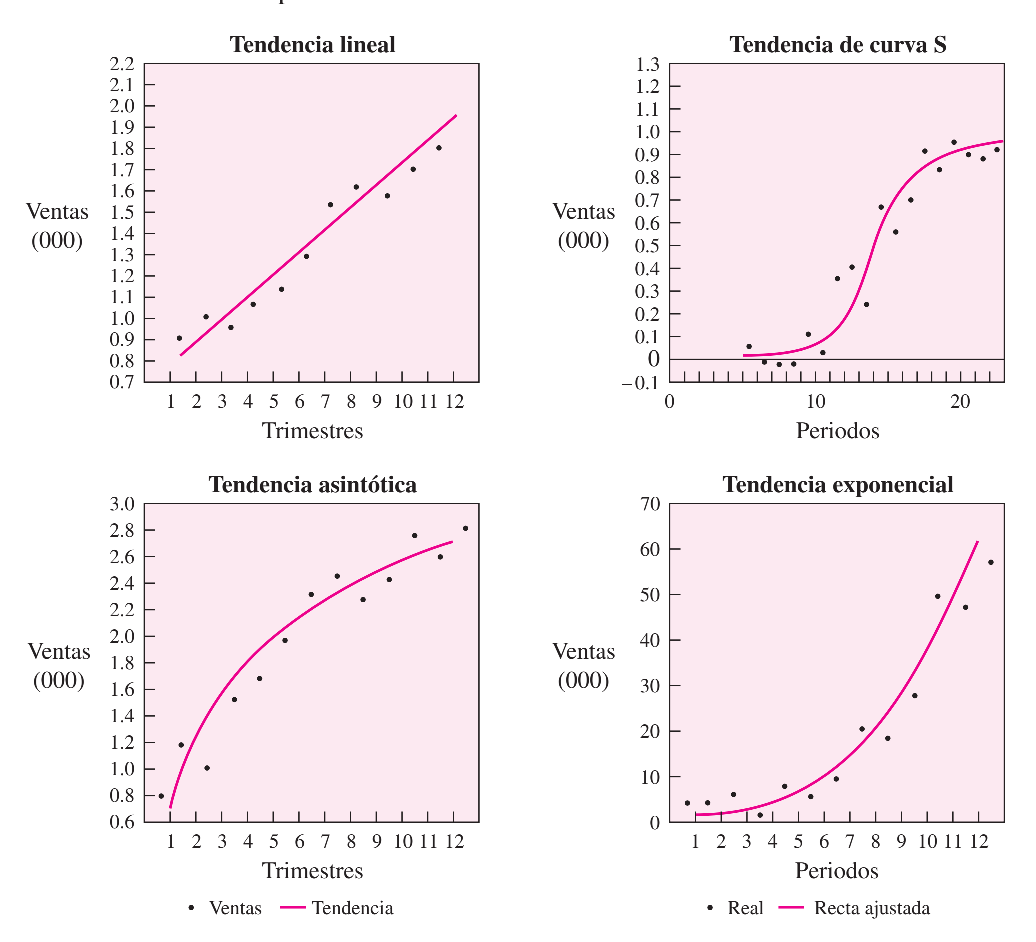
Cuando la demanda es aleatoria, es probable que varíe en gran medida de una semana a otra. Donde existe una correlación alta, no se espera que la demanda cambie mucho de una semana a la siguiente.

Las líneas de tendencia casi siempre son el punto de inicio al desarrollar un pronóstico. Después, estas líneas de tendencia se ajustan de acuerdo con los efectos estacionales, los elementos cíclicos y cualquier otro suceso esperado que pueda influir en el pronóstico final. La ilustración 15.2 muestra cuatro de los tipos de tendencias más comunes. Como es obvio, una tendencia lineal es una relación continua directa. Una curva S es característica del crecimiento y el ciclo de madurez de un producto. El punto más importante en la curva S es donde la tendencia cambia de crecimiento lento a rápido, o de rápido a lento. Una tendencia asintótica empieza con el crecimiento más alto de la demanda en un principio pero después se reduce. Una curva como esta se presenta cuando una empresa entra en un mercado existente con el objetivo de saturarlo y captar una mayor participación en él. Una curva exponencial es común en productos con un crecimiento explosivo. La tendencia exponencial sugiere que las ventas seguirán en aumento, suposición que quizá no sea seguro realizar.

Un método de pronóstico de uso muy común grafica los datos y luego busca la distribución estándar (como lineal, curva S, asintótica o exponencial) que se adapte mejor a estos. El atractivo de este método radica en que, como las matemáticas de la curva son conocidas, resulta fácil despejar los valores de los periodos futuros.

En ocasiones, la información no parece adaptarse a ninguna curva estándar. Esto quizá se deba a varias causas que, en esencia, envían los datos desde varias direcciones al mismo tiempo. Para estos casos es posible obtener un pronóstico sencillo pero eficaz con solo graficar la información.

ILUSTRACIÓN 15.2 Tipos comunes de tendencias.



Análisis de series de tiempo

Los modelos de pronósticos de series de tiempo tratan de predecir el futuro con base en información anterior. Por ejemplo, con las cifras de ventas recopiladas durante las seis semanas anteriores se pronostican las ventas durante la séptima semana. Se parte de las cifras de ventas trimestrales recopiladas durante los últimos años para pronosticar los trimestres futuros. Aunque ambos ejemplos contienen ventas es probable que se utilicen distintos modelos de series de tiempo para elaborar los pronósticos.

La ilustración 15.3 muestra los modelos de series de tiempo que se estudian en el capítulo y algunas de sus características. Los términos como *corto*, *mediano* y *largo* son relativos al contexto en que se emplean. Sin embargo, en el pronóstico de negocios, *corto plazo* casi siempre se refiere a menos de tres meses; *mediano plazo*, a un periodo de tres meses a dos años, y *largo plazo*, a un término mayor de dos años. Generalmente se usarían pronósticos de corto plazo para decisiones tácticas, como reponer inventario o programar empleados en fechas cercanas, y pronósticos de mediano plazo para planificar una estrategia con la cual satisfacer la demanda de los siguientes seis meses a un año y medio. En general, los modelos de corto plazo compensan la variación aleatoria y se ajustan a los cambios de corto plazo (como las respuestas del consumidor a un producto nuevo). Son especialmente buenos para medir la actual variabilidad en demanda, lo cual es útil para establecer niveles de seguridad de existencia o estimar cargas pico en una situación de servicio. Los pronósticos de mediano plazo son útiles para efectos estacionales, y los modelos de largo plazo detectan las tendencias generales y son muy útiles para identificar los cambios más importantes.

El modelo de pronóstico que una empresa debe elegir depende de:

1. El horizonte de tiempo que se va a pronosticar.
2. La disponibilidad de los datos.
3. La precisión requerida.
4. El tamaño del presupuesto para el pronóstico.
5. La disponibilidad de personal calificado.

Al seleccionar un modelo de pronóstico existen otros aspectos, como el grado de flexibilidad de la empresa (mientras mayor sea su habilidad para reaccionar con rapidez a los cambios, menos preciso necesita ser el pronóstico). Otro aspecto es la consecuencia de un mal pronóstico. Si una decisión importante sobre la inversión de capital se basa en un pronóstico, este debe ser bueno.

ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL

La *regresión* se define como una relación funcional entre dos o más variables correlacionadas. Con ella se pronostica una variable con base en otra. Por lo general, la relación se establece a partir de datos observados. Primero es necesario graficar los datos para ver si aparecen lineales o

ILUSTRACIÓN 15.3 Guía para seleccionar un método de pronóstico apropiado.

Método de pronóstico	Cantidad de datos históricos	Patrón de los datos	Horizonte de pronóstico
Regresión lineal	De 10 a 20 observaciones para la temporalidad, al menos cinco observaciones por temporada	Estacionarios, tendencias y temporalidad	Corto a mediano
Promedio móvil simple	6 a 12 meses; a menudo se utilizan datos semanales	Los datos deben ser estacionarios (es decir, sin tendencia ni temporalidad)	Corto
Promedio móvil ponderado y suavización exponencial simple	Para empezar se necesitan de 5 a 10 observaciones	Los datos deben ser estacionarios	Corto
Suavización exponencial con tendencia	Para empezar se necesitan de 5 a 10 observaciones	Estacionarios y tendencias	Corto

si al menos partes de los datos son lineales. La *regresión lineal* se refiere a la clase de regresión especial en la que la relación entre las variables forma una recta.

La recta de la regresión lineal tiene la forma $Y = a + bX$, donde Y es el valor de la variable dependiente que se despeja, a es la secante en Y, b es la pendiente y X es la variable independiente (en el análisis de serie de tiempo, las X son unidades de tiempo).

La regresión lineal es útil para el pronóstico de largo plazo de sucesos importantes, así como la planificación agregada. Por ejemplo, la regresión lineal sería muy útil para pronosticar las demandas de familias de productos. Si bien la demanda de productos individuales dentro de una familia puede variar en gran medida durante un periodo, la demanda de toda la familia de productos es sorprendentemente suavizada.

Pronóstico de regresión lineal

La principal restricción al utilizar el **pronóstico de regresión lineal** es, como su nombre lo implica, que se supone que los datos pasados y las proyecciones a futuro caen sobre una recta. Aunque esto no limita su aplicación, en ocasiones, si se utiliza un periodo más corto, aún es posible usar el análisis de regresión lineal. Por ejemplo, puede haber segmentos más cortos del periodo más largo que sean más o menos lineales.

La regresión lineal se utiliza para pronósticos tanto de series de tiempo como de relaciones causales. Cuando la variable dependiente (que casi siempre es el eje vertical en una gráfica) cambia como resultado del tiempo (trazado como el eje horizontal), se trata de un análisis de serie temporal. Si una variable cambia debido al cambio en otra, se trata de una relación causal (como el número de muertes debidas al aumento de cáncer pulmonar entre la gente que fuma).

Con el siguiente ejemplo se demuestra el análisis de regresión lineal con mínimos cuadrados.

EJEMPLO 15.1: Método de mínimos cuadrados

Paso por paso

Las ventas de una línea de productos de una empresa durante los 12 trimestres de los últimos tres años son las siguientes:

Trimestre	Ventas	Trimestre	Ventas
1	600	7	2 600
2	1 550	8	2 900
3	1 500	9	3 800
4	1 500	10	4 500
5	2 400	11	4 000
6	3 100	12	4 900

La compañía quiere pronosticar cada trimestre del cuarto año; es decir, los trimestres 13, 14, 15 y 16.

Solución

La ecuación de los mínimos cuadrados para la regresión lineal es

$$Y = a + bx \tag{15.1}$$

donde

Y = Variable dependiente calculada mediante la ecuación
y = El punto de datos de la variable dependiente real (utilizado abajo)
a = Secante Y
b = Pendiente de la recta
x = Periodo

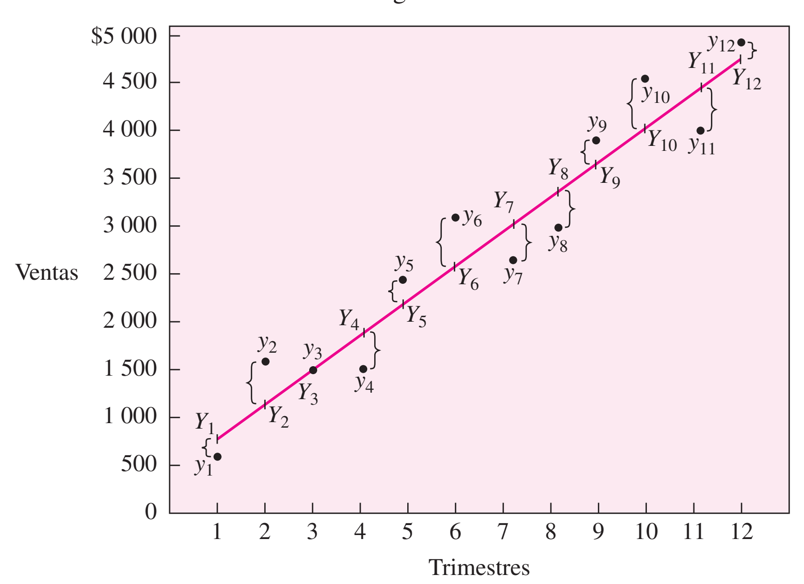
El método de mínimos cuadrados trata de ajustar la recta a los datos *que reducen al mínimo la suma de los cuadrados de la distancia vertical* entre cada punto de datos y el punto correspondiente en la recta. Si se traza una recta a través del área general de los puntos, la diferencia entre el punto y la recta es $y - Y$. La ilustración 15.4 muestra estas diferencias. La suma de los cuadrados de las diferencias entre los puntos de datos trazados y los puntos de la recta es

$$(y_1 - Y_1)^2 + (y_2 - Y_2)^2 + \cdots + (y_{12} - Y_{12})^2$$

La mejor recta es la que reduce al mínimo este total.

ILUSTRACIÓN 15.4 Recta de la regresión de mínimos cuadrados.

Excel: Pronóstico



Como antes, la ecuación de recta es

$$Y = a + bx$$

Anteriormente se determinaron a y b a partir de la gráfica. En el método de mínimos cuadrados, las ecuaciones para a y b son

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \qquad \textbf{(15.2)}$$

$$b = \frac{\sum xy - n\bar{x} \cdot \bar{y}}{\sum x^2 - n\bar{x}^2} \qquad \textbf{(15.3)}$$

donde

a = Secante Y
b = Pendiente de la recta
$\bar{y}$ = Promedio de todas las y
$\bar{x}$ = Promedio de todas las x
x = Valor x de cada punto de datos
y = Valor y de cada punto de datos
n = Número de punto de datos
Y = Valor de la variable dependiente calculada con la ecuación de regresión

La ilustración 15.5 muestra estos cálculos realizados para los 12 puntos de datos en el problema. Observe que la ecuación final para Y presenta una secante de 441.6 y una pendiente de 359.6. La pendiente muestra que por cada cambio unitario en X, Y cambia 359.6.

Con base estrictamente en la ecuación, los pronósticos de los periodos 13 a 16 serían

$$Y_{13} = 441.6 + 359.6(13) = 5\ 116.4$$
$$Y_{14} = 441.6 + 359.6(14) = 5\ 476.0$$
$$Y_{15} = 441.6 + 359.6(15) = 5\ 835.6$$
$$Y_{16} = 441.6 + 359.6(16) = 6\ 195.2$$

El error estándar del estimado, o la forma en que la recta se adapta a los datos, es[2]

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - Y_i)^2}{n - 2}} \qquad \textbf{(15.4)}$$

[2] Una ecuación del error estándar que a menudo es más fácil calcular es $S_{yx} = \sqrt{\frac{\Sigma y^2 - a\Sigma y - b\Sigma xy}{n - 2}}$.

ILUSTRACIÓN 15.5 Análisis de regresión de mínimos cuadrados.

(1) x	(2) y	(3) xy	(4) x^2	(5) y^2	(6) Y
1	600	600	1	360 000	801.3
2	1 550	3 100	4	2 402 500	1 160.9
3	1 500	4 500	9	2 250 000	1 520.5
4	1 500	6 000	16	2 250 000	1 880.1
5	2 400	12 000	25	5 760 000	2 239.7
6	3 100	18 600	36	9 610 000	2 599.4
7	2 600	18 200	49	6 760 000	2 959.0
8	2 900	23 200	64	8 410 000	3 318.6
9	3 800	34 200	81	14 440 000	3 678.2
10	4 500	45 000	100	20 250 000	4 037.8
11	4 000	44 000	121	16 000 000	4 397.4
12	4 900	58 800	144	24 010 000	4 757.1
78	33 350	268 200	650	112 502 500	

$\bar{x} = 6.5$ $\quad b = 359.6153$
$\bar{y} = 2\,779$ $\quad a = 441.6666$
Por tanto, $Y = 441.66 + 359.6x$
$S_{yx} = 363.9$

Excel: Pronóstico

El error estándar del estimado se calcula a partir de la segunda y la última columnas de la ilustración 15.5.

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{(600 - 801.3)^2 + (1\,550 - 1\,160.9)^2 + (1\,500 - 1\,520.5)^2 + \cdots + (4\,900 - 4\,757.1)^2}{10}}$$

$$= 363.9$$

Microsoft Excel tiene una poderosa herramienta de regresión, diseñada para realizar estos cálculos. Para utilizarla es necesaria una tabla que contenga los datos pertinentes del problema (vea la ilustración 15.6).

ILUSTRACIÓN 15.6 Herramienta de regresión de Excel.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Qtr	Demand							
2	1	600							
3	2	1550							
4	3	1500							
5	4	1500							
6	5	2400							
7	6	3100							
8	7	2600							
9	8	2900							
10	9	3800							
11	10	4500							
12	11	4000							
13	12	4900							
14									
15									
16	SUMMARY OUTPUT								
17									
18	*Regression Statistics*								
19	Multiple R	0.96601558							
20	R Square	0.933186102							
21	Adjusted R Square	0.926504712							
22	Standard Error	363.8777972							
23	Observations	12							
24									
25	ANOVA								
26		*df*	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*			
27	Regression	1	18493221.15	18493221	139.6695	3.37202E-07			
28	Residual	10	1324070.513	132407.1					
29	Total	11	19817291.67						
30									
31		*Coefficients*	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
32	Intercept	441.6666667	223.9513029	1.972155	0.076869	-57.3279302	940.661264	-57.3279302	940.6612636
33	X Variable 1	359.6153846	30.42899005	11.81818	3.37E-07	291.8153699	427.415399	291.81537	427.4153993
34									

Regression

Input
Input Y Range: $B$2:$B$13
Input X Range: $A$2:$A$13
Labels — Constant is Zero
Confidence Level: 95 %

OK
Cancel
Help

Output options
Output Range: $A$16
New Worksheet Ply:
New Workbook

Residuals
Residuals — Residual Plots
Standardized Residuals — Line Fit Plots

Normal Probability
Normal Probability Plots

La herramienta forma parte del Data Analysis ToolPak, al que se tiene acceso desde el menú Herramientas (o la pestaña Datos en Excel 2007) (es probable que necesite agregar estas opciones de Herramientas mediante la opción Agregar en Herramientas).

Para usar la herramienta, primero capture los datos en dos columnas en la hoja de cálculo y luego entre en la opción Regresión del menú Herramientas → Análisis de datos. A continuación, especifique el Rango Y, que es B2:B13, y el Rango X, que es A2:A13 en el ejemplo. Por último, se especifica el Rango de salida. Entonces es cuando debe incluir en la hoja de cálculo los resultados del análisis de regresión. En el ejemplo, se capturó A16. Existe cierta información proporcionada que va más allá de lo que se estudió, pero lo que se busca son los coeficientes Secante y Variable X, que corresponden a los valores de secante y pendiente en la ecuación lineal. Estos se encuentran en las filas 32 y 33 de la ilustración 15.6. ●

En la siguiente sección sobre la descomposición de una serie de tiempo se estudia la posible existencia de componentes estacionales.

Descomposición de una serie de tiempo

Una *serie de tiempo* se define como datos ordenados en forma cronológica que pueden contener uno o más componentes de la demanda: tendencia, estacional, cíclico, autocorrelación o aleatorio. La *descomposición* de una serie de tiempo significa identificar y separar los datos de la serie de tiempo en estos componentes. En la práctica, es relativamente fácil identificar la tendencia (aun sin un análisis matemático, casi siempre es sencillo trazar y ver la dirección del movimiento) y el componente estacional (al comparar el mismo periodo año tras año). Es mucho más difícil identificar los componentes de los ciclos (pueden durar varios meses o años), la autocorrelación y el aleatorio. Por lo regular, el encargado de realizar el pronóstico considera aleatorio cualquier elemento que sobre y que no sea posible identificar como otro componente.

Cuando la demanda contiene efectos estacionales y de tendencia al mismo tiempo, la pregunta es cómo se relacionan entre sí. En esta descripción se analizan dos tipos de variación estacional: *aditiva* y *multiplicativa*.

Variación estacional aditiva La variación estacional aditiva simplemente supone que la cantidad estacional es una constante sin importar la tendencia ni la cantidad promedio.

Pronóstico que incluye tendencia y estacional = Tendencia + Estacional

La ilustración 15.7*A* muestra un ejemplo de una tendencia en aumento con cantidades estacionales constantes.

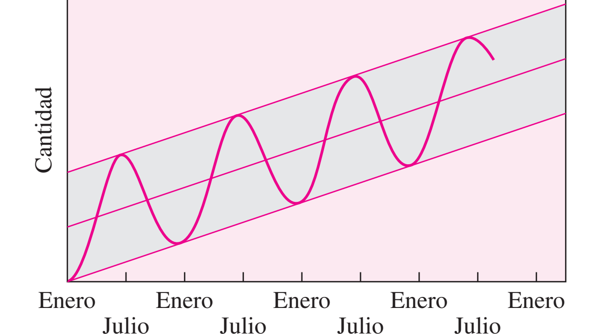
Variación estacional multiplicativa En la variación estacional multiplicativa, la tendencia se multiplica por los factores estacionales.

Pronóstico que incluye tendencia y estacional = Tendencia × Factor estacional

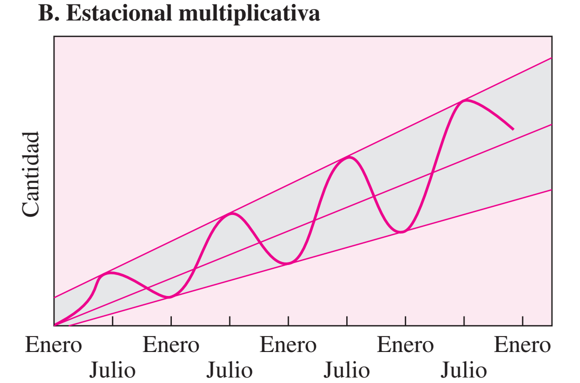
ILUSTRACIÓN 15.7 Variación estacional aditiva y multiplicativa sobrepuesta en la tendencia cambiante

Excel: Pronóstico

A. Estacional aditiva



B. Estacional multiplicativa



Compañías como Toro fabrican podadoras y limpiadores de nieve para cubrir la demanda estacional. El uso del mismo equipo y las mismas líneas de ensamble permite un mejor aprovechamiento de la capacidad, y mayor estabilidad de la mano de obra, productividad e ingresos.

La ilustración 15.7*B* muestra la variación estacional en aumento conforme se incrementa la tendencia porque su tamaño depende de esta última.

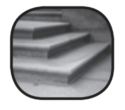
La variación estacional multiplicativa es la experiencia común. En esencia, establece que mientras más elevada sea la cantidad básica pronosticada, más alta será la variación que cabe esperar a su alrededor.

Factor (o índice) estacional Un factor estacional es la cantidad de corrección necesaria en una serie temporal para ajustarse a la estación del año.

Por lo general, se relaciona *estacional* con un periodo del año caracterizado por alguna actividad en particular. Con la palabra *cíclico* se indica que no se trata de los periodos anuales recurrentes de actividad repetitiva.

Los siguientes ejemplos muestran cómo se determinan y utilizan los índices estacionales para pronosticar 1) un cálculo sencillo basado en datos estacionales pasados y 2) la tendencia y el índice estacional de una recta de la regresión ajustada a mano. A continuación se da un procedimiento más formal para la descomposición y el pronóstico de los datos mediante regresión de mínimos cuadrados.

EJEMPLO 15.2: Proporción simple



Paso por paso

Suponga que en los últimos años una empresa vendió un promedio de 1 000 unidades al año de una línea de productos en particular. En promedio se vendieron 200 unidades en primavera, 350 en verano, 300 en otoño y 150 en invierno. El factor (o índice) estacional es la razón de la cantidad vendida durante cada estación dividida entre el promedio de todas las estaciones.

Solución

En este ejemplo, la cantidad anual dividida en forma equitativa entre todas las temporadas es 1 000 ÷ 4 = 250. Por tanto, los factores estacionales son:

	Ventas pasadas	Promedio de ventas por cada temporada (1 000/4)	Factor estacional
Primavera	200	250	200/250 = 0.8
Verano	350	250	350/250 = 1.4
Otoño	300	250	300/250 = 1.2
Invierno	150	250	150/250 = 0.6
Total	1 000		

Con estos factores, si se espera que la demanda para el próximo año sea de 1 100 unidades, se pronosticaría que ocurra así:

	Demanda esperada para el próximo año	Promedio de ventas por cada temporada (1 100/4)		Factor estacional		Pronóstico estacional del próximo año
Primavera		275	×	0.8	=	220
Verano		275	×	1.4	=	385
Otoño		275	×	1.2	=	330
Invierno		275	×	0.6	=	165
Total	1 100					

El factor estacional se puede actualizar de manera periódica cuando se disponga de nuevos datos. El ejemplo siguiente muestra el factor estacional y la variación estacional multiplicativa.

Paso por paso

EJEMPLO 15.3: Cálculo de la tendencia y el factor estacional a partir de una recta ajustada a mano

En este caso deben calcularse la tendencia y los factores estacionales.

Solución

Se resuelve el problema con solo ajustar a mano una recta que cruce todos los puntos de datos y mida la tendencia y la secante de la gráfica. Suponga que el historial de datos es

Trimestre	Cantidad	Trimestre	Cantidad
I-2008	300	I-2009	520
II-2008	200	II-2009	420
III-2008	220	III-2009	400
IV-2008	530	IV-2009	700

Primero se grafica como en la ilustración 15.8 y luego se ajusta visualmente una recta a través de todos los datos (como es natural, esta recta y la ecuación resultante están sujetas a variación). La ecuación para la recta es

$$\text{Tendencia}_t = 170 + 55t$$

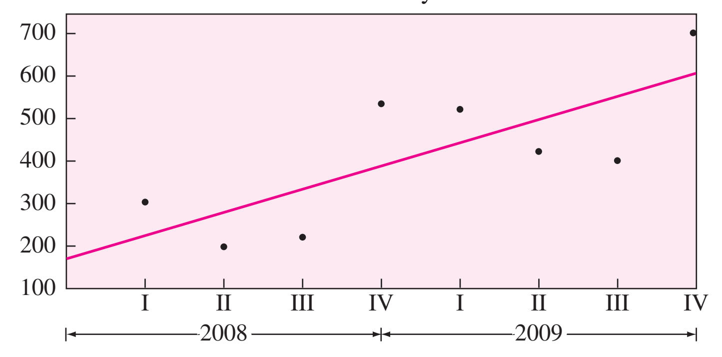
La ecuación se deriva de la secante 170 más un aumento de (610 – 170) ÷ 8 periodos. A continuación se deriva un índice estacional al comparar los datos reales con la recta de tendencia como en la ilustración 15.8. El factor estacional se elaboró calculando el promedio de los mismos trimestres de cada año.

El cálculo del pronóstico para 2010, inclusive los factores de tendencia y estacional (PFTE) es como sigue:

$$\text{PFTE}_t = \text{Tendencia} \times \text{Estacional}$$
$$\text{I-2010 PFTE}_9 = [170 + 55(9)]1.25 = 831$$
$$\text{II-2010 PFTE}_{10} = [170 + 55(10)]0.78 = 562$$
$$\text{III-2010 PFTE}_{11} = [170 + 55(11)]0.69 = 535$$
$$\text{IV-2010 PFTE}_{12} = [170 + 55(12)]1.25 = 1\ 038$$ ●

ILUSTRACIÓN 15.8 Cálculo de un factor estacional a partir de datos reales y tendencias.

Excel: Pronóstico



Trimestre	Cantidad real	De la ecuación de tendencia $T_t = 170 + 55t$	Razón de real ÷ tendencia	Factor estacional (promedio del mismo trimestre en ambos años)
2008				
I	300	225	1.33	
II	200	280	.71	
III	220	335	.66	I-1.25
IV	530	390	1.36	II-0.78
2009				III-0.69
I	520	445	1.17	IV-1.25
II	420	500	.84	
III	400	555	.72	
IV	700	610	1.15	

Descomposición con regresión por mínimos cuadrados La descomposición de una serie de tiempo significa encontrar los componentes básicos de la serie de tendencia, estacional y cíclico. Los índices se calculan por estaciones y ciclos. El procedimiento del pronóstico después invierte el proceso con el pronóstico de la tendencia y su ajuste mediante los índices estacionales y cíclicos, los cuales se determinaron en el proceso de descomposición. En términos formales, el proceso es:

1. Descomponer las series de tiempo en sus componentes.
   a) Encontrar el componente estacional.
   b) Descontar las variaciones de temporada de la demanda.
   c) Encontrar el componente de la tendencia.
2. Pronosticar valores futuros de cada componente.
   a) Pronosticar el componente de la tendencia en el futuro.
   b) Multiplicar el componente de la tendencia por el componente estacional.

Observe que en esta lista no se incluye el componente aleatorio. El componente aleatorio de la serie de tiempo se elimina implícitamente cuando se promedia, como en el paso 1. No tiene caso intentar una proyección del componente aleatorio del paso 2 a menos que se tenga información sobre algún suceso inusual, como un conflicto laboral grave, que pudiera influir en la demanda del producto (y esto no sería al azar).

En la ilustración 15.9 se muestra la descomposición de una serie de tiempo con el uso de una regresión de mínimos cuadrados y los mismos datos básicos de ejemplos anteriores. Cada dato corresponde al uso de un solo trimestre del periodo de tres años (12 trimestres). El objetivo es pronosticar la demanda de los cuatro trimestres del cuarto año.

Paso 1. Determinar el factor (o índice) estacional. En la ilustración 15.9 se presenta un resumen de los cálculos necesarios. En la columna 4 se desarrolla un promedio para los

ILUSTRACIÓN 15.9 Demanda no estacional.

(1) Periodo (x)	(2) Trimestre	(3) Demanda real (y)	(4) Promedio de los mismos trimestres de cada año	(5) Factor estacional	(6) Demanda no estacional (yd) Col. (3) ÷ Col. (5)	(7) x^2 Col. (1)^2	(8) $x \times yd$ Col. (1) × Col. (6)
1	I	600	(600 + 2 400 + 3 800)/3 = 2 266.7	0.82	735.7	1	735.7
2	II	1 550	(1 550 + 3 100 + 4 500)/3 = 3 050	1.10	1 412.4	4	2 824.7
3	III	1 500	(1 500 + 2 600 + 4 000)/3 = 2 700	0.97	1 544.0	9	4 631.9
4	IV	1 500	(1 500 + 2 900 + 4 900)/3 = 3 100	1.12	1 344.8	16	5 379.0
5	I	2 400		0.82	2 942.6	25	14 713.2
6	II	3 100		1.10	2 824.7	36	16 948.4
7	III	2 600		0.97	2 676.2	49	18 733.6
8	IV	2 900		1.12	2 599.9	64	20 798.9
9	I	3 800		0.82	4 659.2	81	41 932.7
10	II	4 500		1.10	4 100.4	100	41 004.1
11	III	4 000		0.97	4 117.3	121	45 290.1
12	IV	4 900		1.12	4 392.9	144	52 714.5
78		33 350		12.03	33 350.1*	650	265 706.9

$$\bar{x} = \frac{78}{12} = 6.5 \qquad b = \frac{\sum xy_d - n\bar{x}\bar{y}_d}{\sum x^2 - n\bar{x}^2} = \frac{265\,706.9 - 12(6.5)2\,779.2}{650 - 12(6.5)^2} = 342.2$$

$\bar{y}_d = 33\,350/12 = 2\,779.2$ $\quad a = \bar{y}_d - b\bar{x} = 2\,779.2 - 342.2(6.5) = 554.9$

Por tanto, $Y = a + bx = 554.9 + 342.2x$

* Los totales de las columnas 3 y 6 deben ser iguales a 33 350. Las diferencias se deben al redondeo. La columna 5 se redondeó a dos lugares decimales.

mismos trimestres del periodo de tres años. Por ejemplo, se sumaron los primeros trimestres de los tres años y después se dividieron entre 3. Luego se deriva un factor estacional al dividir ese promedio entre el promedio general de los 12 trimestres $\left(\frac{33\ 350}{12}, \text{ o } 2\ 779\right)$. Por ejemplo, el factor estacional del primer trimestre es $\frac{2\ 266.7}{2\ 779} = 0.82$. El resultado se introduce en la columna 5. Observe que los factores estacionales son idénticos en los trimestres semejantes en cada año.

Paso 2. Descontar las variaciones de temporada de los datos originales. Para eliminar el efecto estacional de los datos se dividen los datos originales entre el factor estacional. Este paso se llama descuento de las variaciones de temporada de la demanda y se presentan en la columna 6 de la ilustración 15.9.

Paso 3. Trazar una recta de regresión por mínimos cuadrados para los datos con descuento de variaciones de temporada. El objetivo es elaborar una ecuación para la recta de la tendencia *Y*, que después se modifica con el factor estacional. El procedimiento es el mismo de antes:

$$Y = a + bx$$

donde

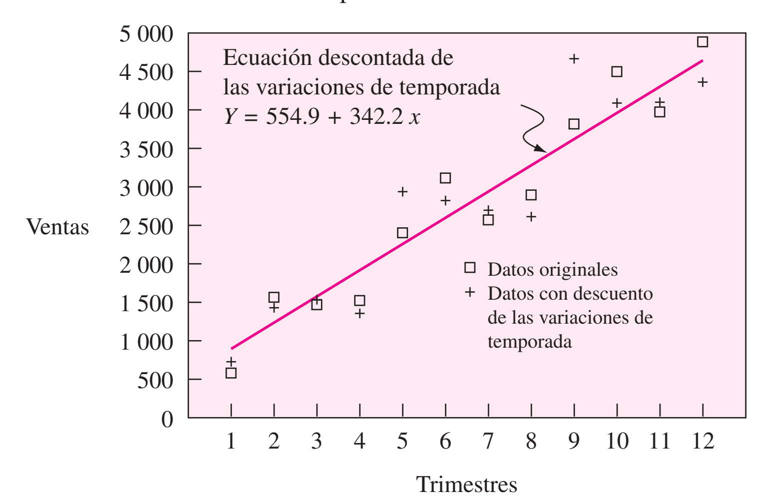
y_d = Demanda con descuento de las variaciones de temporada (vea la ilustración 15.9)
x = Trimestre
Y = Demanda calculada con la ecuación de regresión $Y = a + bx$
a = Secante de Y
b = Pendiente de la recta

En la sección inferior de la ilustración 15.9 se presentan los cálculos de mínimos cuadrados con las columnas 1, 7 y 8. La ecuación final de descuento de las variaciones de temporada de los datos es $Y = 554.9 + 342.2x$. Esta recta se presenta en la ilustración 15.10.

Paso 4. Proyectar la recta de la regresión a través del periodo por pronosticar. El propósito es pronosticar los periodos 13 a 16. Lo primero es resolver la ecuación para *Y* en cada periodo (que se muestra en el paso 5, columna 3).

Paso 5. Crear el pronóstico final mediante el ajuste de la recta de la regresión según el factor estacional. Cabe recordar que se descontaron las variaciones de temporada de la ecuación *Y*. Ahora se invierte el procedimiento al multiplicar los datos trimestrales derivados mediante el factor estacional de ese trimestre:

ILUSTRACIÓN 15.10 Gráfica de recta de ecuación descontada de las variaciones de temporada.



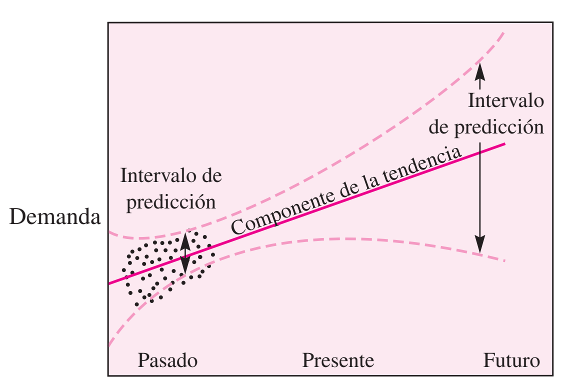
Excel: Pronóstico

Periodo	Trimestre	*Y* de la recta de la regresión	Factor estacional	Pronóstico (*Y* × factor estacional)
13	1	5 003.5	0.82	4 102.87
14	2	5 345.7	1.10	5 880.27
15	3	5 687.9	0.97	5 517.26
16	4	6 030.1	1.12	6 753.71

Ya está completo el pronóstico. Normalmente, el procedimiento es igual al realizado en el ejemplo anterior que se ajustó a mano. Pero en este ejemplo se sigue un procedimiento más formal y también se calcula la recta de la regresión de mínimos cuadrados.

Rango de error Cuando se ajusta una recta mediante puntos de datos y después se pronostica con ella, los errores se generan desde dos fuentes. Primero, existen los errores usuales semejantes a la desviación estándar de toda serie de datos. Segundo, se generan errores porque la recta es incorrecta. La ilustración 15.11 muestra este rango de error. Más que desarrollar aquí las estadísticas, solo se demostrará brevemente la causa de que se amplíe el rango. Primero, se visualiza una recta trazada con cierto error de modo que su inclinación ascendente sea muy pronunciada. Después se calculan los errores estándar para esta recta. Ahora hay que visualizar otra recta cuya inclinación descendente sea muy pronunciada. También tiene un error estándar. El rango de error total, para este análisis, consiste en errores que resultan de ambas rectas así como de otras rectas posibles. Se incluye esta ilustración para demostrar cómo se amplía el rango de error conforme avanza.

ILUSTRACIÓN 15.11
Intervalos de predicción para la tendencia lineal.



PROMEDIO MÓVIL SIMPLE

Cuando la demanda de un producto no crece ni baja con rapidez, y si no tiene características estacionales, un promedio móvil puede ser útil para eliminar las fluctuaciones aleatorias del pronóstico. Aunque los *promedios de movimientos* casi siempre son centrados, es más conveniente utilizar datos anteriores para predecir el periodo siguiente de manera directa. Para ilustrar, un promedio centrado de cinco meses de enero, febrero, marzo, abril y mayo da un promedio centrado en marzo. Sin embargo, deben existir los cinco meses de datos. Si el objetivo es pronosticar para junio, se debe proyectar el promedio de movimientos de marzo a junio. Si el promedio no está centrado sino que se encuentra en un extremo, se pronostica con mayor facilidad, aunque quizá se pierda cierta precisión. Por tanto, si se quiere pronosticar para junio con un promedio móvil de cinco meses, puede tomarse el promedio de enero, febrero, marzo, abril y mayo. Cuando pase junio, el pronóstico para julio será el promedio de febrero, marzo, abril, mayo y junio. Así se calculó la ilustración 15.12.

Si bien es importante seleccionar el mejor periodo para el promedio móvil, existen varios efectos conflictivos de distintos periodos. Cuanto más largo sea el periodo del promedio móvil, más se suavizarán (uniformarán) los elementos aleatorios (lo que será conveniente en muchos casos). Pero si existe una tendencia en los datos (ya sea a la alta o a la baja), el promedio móvil tiene la característica adversa de retrasar la tendencia. Por tanto, aunque un periodo más corto produce más oscilación, existe un seguimiento cercano de la tendencia. Por el contrario, un periodo más largo da una respuesta más uniforme pero retrasa la tendencia.

La fórmula de un promedio móvil simple es

$$F_t = \frac{A_{t-1} + A_{t-2} + A_{t-3} + \cdots + A_{t-n}}{n} \quad \textbf{(15.5)}$$

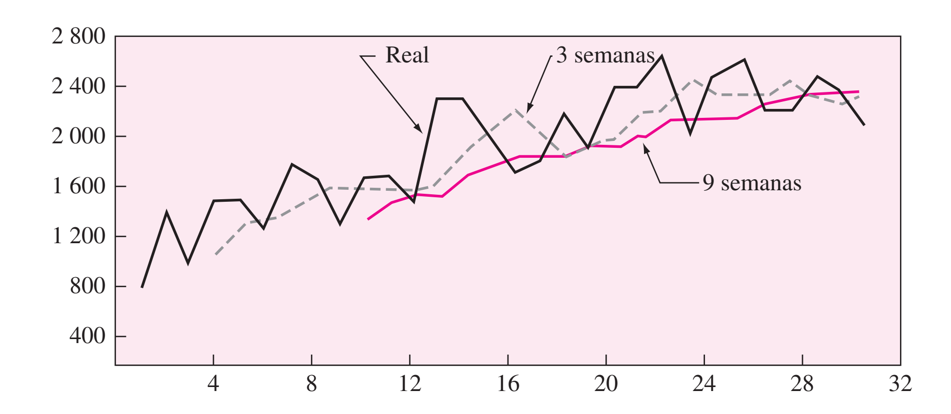
donde

F_t = Pronóstico para el siguiente periodo
n = Número de periodos por promediar
A_{t-1} = Suceso real en el periodo pasado
A_{t-2}, A_{t-3} y A_{t-n} = Sucesos reales hace dos periodos, hace tres periodos y así sucesivamente, hasta hace n periodos

ILUSTRACIÓN 15.12 Promedio móvil simple; pronóstico de demanda en periodos de tres y nueve semanas.

Excel: Pronóstico

Semana	Demanda	3 semanas	9 semanas	Semana	Demanda	3 semanas	9 semanas
1	800			16	1 700	2 200	1 811
2	1 400			17	1 800	2 000	1 800
3	1 000			18	2 200	1 833	1 811
4	1 500	1 067		19	1 900	1 900	1 911
5	1 500	1 300		20	2 400	1 967	1 933
6	1 300	1 333		21	2 400	2 167	2 011
7	1 800	1 433		22	2 600	2 233	2 111
8	1 700	1 533		23	2 000	2 467	2 144
9	1 300	1 600		24	2 500	2 333	2 111
10	1 700	1 600	1 367	25	2 600	2 367	2 167
11	1 700	1 567	1 467	26	2 200	2 367	2 267
12	1 500	1 567	1 500	27	2 200	2 433	2 311
13	2 300	1 633	1 556	28	2 500	2 333	2 311
14	2 300	1 833	1 644	29	2 400	2 300	2 378
15	2 000	2 033	1 733	30	2 100	2 367	2 378



Una gráfica de los datos en la ilustración 15.12 muestra los efectos de las distintas duraciones de un periodo de un promedio móvil. Se ve que la tendencia de crecimiento se nivela alrededor de la semana 23. El promedio de movimientos de tres semanas responde mejor al seguir este cambio que el promedio de nueve semanas, aunque, en general, el promedio de nueve semanas es más uniforme.

La principal desventaja al calcular un promedio móvil es que todos los elementos individuales se deben manejar como información, pues un nuevo periodo de pronóstico comprende agregar datos nuevos y eliminar los primeros. Para un promedio móvil de tres o seis periodos, lo anterior no es muy complicado, pero graficar un promedio móvil de 60 días sobre el uso de cada uno de los 20 000 elementos en un inventario comprendería el manejo de una gran cantidad de información.

PROMEDIO MÓVIL PONDERADO

Mientras que el promedio móvil simple da igual importancia a cada componente de la base de datos del promedio móvil, un promedio móvil ponderado permite asignar cualquier importancia a cada elemento, siempre y cuando la suma de todas las ponderaciones sea igual a uno. Por ejemplo, tal vez una tienda departamental se dé cuenta de que en un periodo de cuatro meses el mejor pronóstico se deriva con 40% de las ventas reales durante el mes más reciente, 30% de dos meses antes, 20% de tres meses antes y 10% de hace cuatro meses. Si las ventas reales fueron

Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5
100	90	105	95	?

el pronóstico para el mes 5 sería

$$\begin{aligned} F_5 &= 0.40(95) + 0.30(105) + 0.20(90) + 1.10(100) \\ &= 38 + 31.5 + 18 + 10 \\ &= 97.5 \end{aligned}$$

La fórmula para un promedio móvil ponderado es

$$F_t = w_1 A_{t-1} + w_2 A_{t-2} + \cdots + w_n A_{t-n} \quad \textbf{(15.6)}$$

donde

w_1 = Ponderación dada al hecho real para el periodo $t - 1$
w_2 = Ponderación dada al hecho real para el periodo $t - 2$
w_n = Ponderación dada al hecho real para el periodo $t - n$
n = Número total de periodos en el pronóstico

Aunque quizá se ignoren muchos periodos (es decir, sus ponderaciones son de cero) y el esquema de ponderación puede estar en cualquier orden (por ejemplo, los datos más distantes pueden tener ponderaciones más altas que los más recientes), la suma de todas las ponderaciones debe ser igual a 1.

$$\sum_{i=1}^{n} w_i = 1$$

Suponga que las ventas del mes 5 resultaron de 110. Entonces, el pronóstico para el mes 6 sería

$$\begin{aligned} F_6 &= 0.40(110) + 0.30(95) + 0.20(105) + 0.10(90) \\ &= 44 + 28.5 + 21 + 9 \\ &= 102.5 \end{aligned}$$

Elección de ponderaciones La experiencia y las pruebas son las formas más sencillas de elegir las ponderaciones. Por regla general, el pasado más reciente es el indicador más importante de lo que se espera en el futuro y por ende debe tener una ponderación más alta. Los ingresos o la capacidad de la planta del mes pasado, por ejemplo, serían un mejor estimado para el mes próximo que los ingresos o la capacidad de la planta de hace varios meses.

No obstante, si los datos son estacionales, por ejemplo, las ponderaciones se deben establecer en forma correspondiente. Las ventas de trajes de baño en julio del año pasado deben tener una ponderación más alta que las ventas de trajes de baño en diciembre (en el hemisferio norte).

El promedio móvil ponderado tiene una ventaja definitiva sobre el promedio móvil simple en cuanto a que puede variar los efectos de los datos pasados. Sin embargo, es más inconveniente y costoso que el método de suavización exponencial, que se analiza a continuación.

SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL

En los métodos de pronósticos anteriores (promedios móviles simple y ponderado), la principal desventaja es la necesidad de manejar en forma continua gran cantidad de datos históricos (esto también sucede con las técnicas de análisis de regresión, que se estudiarán en breve). En estos métodos, al agregar cada nueva pieza de datos se elimina la observación anterior y se calcula el nuevo pronóstico. En muchas aplicaciones (quizás en la mayor parte), los hechos más recientes son más indicativos del futuro que los del pasado más distante. Si esta premisa es válida (que la importancia de los datos disminuye conforme el pasado se vuelve más distante), es probable que el método más lógico y fácil sea la **suavización exponencial**.

Suavización exponencial

La razón por la que se llama suavización exponencial es que cada incremento en el pasado se reduce $(1 - \alpha)$. Por ejemplo, si α es 0.05, las ponderaciones para los distintos periodos serían las siguientes (α se define a continuación):

	Ponderación en $\alpha = 0.05$
Ponderación más reciente = $\alpha(1 - \alpha)^0$	0.0500
Datos de un periodo anterior = $\alpha(1 - \alpha)^1$	0.0475
Datos de dos periodos anteriores = $\alpha(1 - \alpha)^2$	0.0451
Datos de tres periodos anteriores = $\alpha(1 - \alpha)^3$	0.0429

Por tanto, los exponentes 0, 1, 2, 3,…, le dan su nombre.

La suavización exponencial es la técnica de pronóstico más común. Es parte integral de casi todos los programas de pronóstico por computadora, y se usa con mucha frecuencia al ordenar el inventario en empresas minoristas, compañías mayoristas y agencias de servicios.

Las técnicas de suavización exponencial se generalizaron por seis razones principales:

1. Los modelos exponenciales son sorprendentemente precisos.
2. Formular un modelo exponencial es relativamente fácil.
3. El usuario entiende cómo funciona el modelo.
4. Se requieren muy pocos cálculos para utilizar el modelo.
5. Los requerimientos de almacenamiento en computadora son bajos en virtud del uso limitado de datos históricos.
6. Es fácil calcular las pruebas de precisión relacionadas con el desempeño del modelo.

Constante de suavización alfa (α)

En el método de suavización exponencial solo se necesitan tres piezas de datos para pronosticar el futuro: el pronóstico más reciente, la demanda real que ocurrió durante el periodo de pronóstico y una **constante de suavización alfa (α)**. Esta constante de suavización determina el nivel de uniformidad y la velocidad de reacción ante las diferencias entre los pronósticos y los hechos reales. El valor de una constante se determina tanto por la naturaleza del producto como por la idea del gerente de lo que constituye un buen índice de respuesta. Por ejemplo, si una empresa produjo un artículo estándar con una demanda relativamente estable, el índice de reacción ante las diferencias entre la demanda real y pronosticada tenderían a ser pequeñas, quizá de solo 5 o 10 puntos porcentuales. No obstante, si la empresa experimentara un crecimiento, sería mejor tener un índice de reacción más alto, quizá de 15 o 30 puntos porcentuales, para dar mayor importancia a la experiencia de crecimiento reciente. Mientras más rápido sea el crecimiento, más alto deberá ser el índice de reacción. En ocasiones, los usuarios del promedio móvil simple cambian a la suavización exponencial pero conservan las proyecciones similares a las del promedio móvil simple. En este caso, α se calcula $2 \div (n + 1)$, donde n es el número de periodos.

La ecuación para un solo pronóstico de uniformidad exponencial es simplemente

$$F_t = F_{t-1} + \alpha(A_{t-1} - F_{t-1}) \qquad \textbf{(15.7)}$$

donde

F_t = Pronóstico suavizado exponencialmente para el periodo t
F_{t-1} = Pronóstico suavizado exponencialmente para el periodo anterior
A_{t-1} = Demanda real en el periodo anterior
α = Índice de respuesta deseado, o constante de suavización

Esta ecuación establece que el nuevo pronóstico es igual al pronóstico anterior más una porción del error (la diferencia entre el pronóstico anterior y lo que en verdad ocurrió).[3]

Para comprobar el método, suponga que la demanda de largo plazo para el producto sujeto a estudio es relativamente estable, y se considera adecuada una constante de suavización (α) de 0.05. Si el método exponencial se hubiera usado como una política de continuidad, se habría hecho un pronóstico para el mes pasado.[4] Suponga que el pronóstico del mes pasado (F_{t-1}) fue de

[3] Algunos autores prefieren llamar promedio suavizado a F_t.
[4] Cuando se introdujo la suavización exponencial, podía obtenerse el primer pronóstico o punto de partida con una estimación simple o un promedio de los periodos anteriores como el promedio de los dos o tres primeros periodos.

1 050 unidades. Si la demanda real fue de 1 000 en lugar de 1 050, el pronóstico para este mes sería

$$\begin{aligned} F_t &= F_{t-1} + \alpha(A_{t-1} - F_{t-1}) \\ &= 1\,050 + 0.05(1\,000 - 1\,050) \\ &= 1\,050 + 0.05(-50) \\ &= 1\,047.5 \text{ unidades} \end{aligned}$$

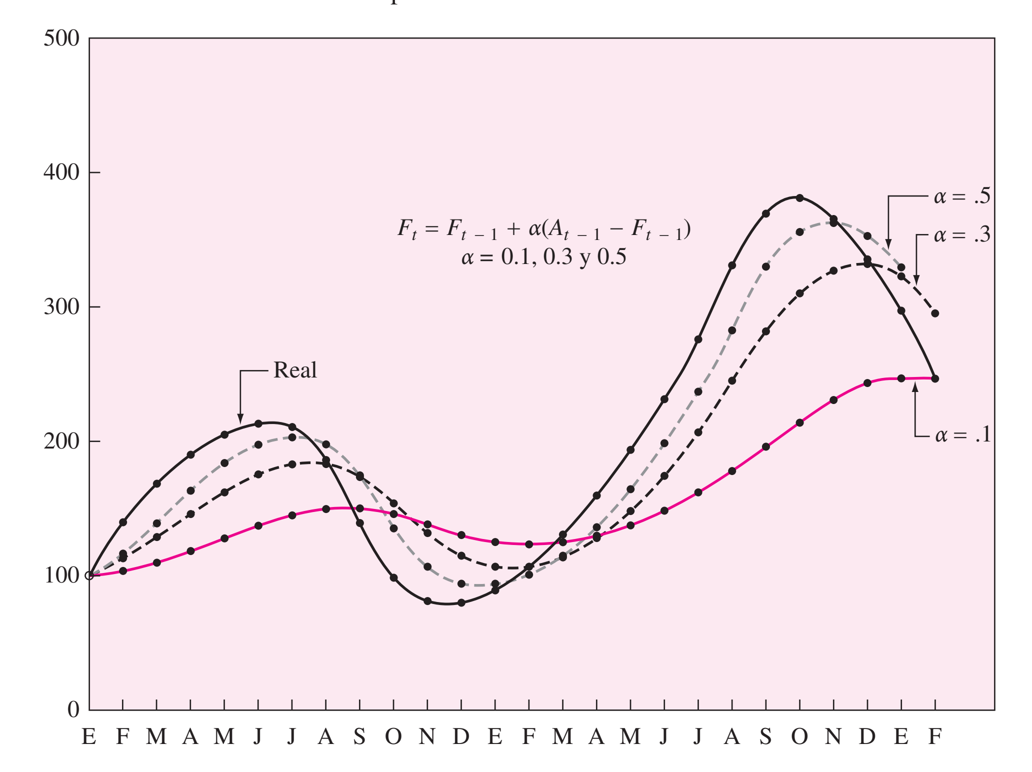
Como el coeficiente de suavización es bajo, la reacción del nuevo pronóstico ante un error de 50 unidades es reducir el pronóstico del próximo mes en solo $2\frac{1}{2}$ unidades.

La suavización exponencial simple tiene la desventaja de retrasar los cambios en la demanda. La ilustración 15.13 presenta los datos reales trazados como una curva suavizada para mostrar los efectos de demora de los pronósticos exponenciales. El pronóstico se retrasa durante un incremento o un decremento pero se dispara cuando cambia la dirección. Observe que mientras más alto sea el valor de alfa, el pronóstico será más cercano a la realidad. Y mientras más se acerque a la demanda real es probable sumar un factor de tendencia. También resulta útil ajustar el valor de alfa. Esto se conoce como *pronóstico adaptativo*. A continuación se explican en forma breve tanto los efectos de las tendencias como el pronóstico adaptativo.

Efectos de la tendencia en la suavización exponencial Recuerde que una tendencia ascendente o descendente en los datos recopilados durante una secuencia de periodos provoca que el pronóstico exponencial siempre se quede por debajo o atrás de los hechos reales. Los pronósticos suavizados exponencialmente se corrigen al agregar un ajuste a las tendencias. Para corregir la tendencia se necesitan dos constantes de suavización. Además de la constante de suavización α, la ecuación de la tendencia utiliza una **constante de suavización delta (δ)**. La delta reduce el impacto del error que ocurre entre la realidad y el pronóstico. Si no se incluyen ni alfa ni delta, la tendencia reacciona en forma exagerada ante los errores.

Constante de suavización delta (δ)

ILUSTRACIÓN 15.13 Pronósticos exponenciales *versus* demanda real de las unidades de un producto en el transcurso del tiempo que muestran una demora en el pronóstico.



Para continuar con la ecuación de la tendencia, la primera vez que se utiliza es preciso capturar el valor manualmente. Este valor de la tendencia inicial puede ser una especulación con ciertas bases o un cálculo a partir de los datos pasados observados.

La ecuación para calcular el pronóstico con la tendencia (PIT) es

$$\mathrm{PIT}_t = F_t + T_t \tag{15.8}$$

$$F_t = \mathrm{PIT}_{t-1} + \alpha(A_{t-1} - \mathrm{PIT}_{t-1}) \tag{15.9}$$

$$T_t = T_{t-1} + \delta(F_t - \mathrm{PIT}_{t-1}) \tag{15.10}$$

donde

F_t = Pronóstico suavizado exponencialmente para el periodo t
T_t = Tendencia suavizada exponencialmente para el periodo t
PIT_t = Pronóstico con la tendencia para el periodo t
PIT_{t-1} = Pronóstico con la tendencia hecha para el periodo anterior
A_{t-1} = Demanda real del periodo anterior
α = Constante de suavización
δ = Constante de suavización

Paso por paso

EJEMPLO 15.4: Pronóstico incluida la tendencia

Suponga una F_t inicial de 100 unidades, una tendencia de 10 unidades, un alfa de 0.20 y una delta de 0.30. Si la demanda real resulta ser de 115 en lugar de los 100 pronosticados, calcule el pronóstico para el periodo siguiente.

Solución

Al sumar el pronóstico inicial y la tendencia se obtiene

$$\mathrm{PIT}_{t-1} = F_{t-1} + T_{t-1} = 100 + 10 = 110$$

La verdadera A_{t-1} se da como 115. Por tanto,

$$\begin{aligned} F_t &= \mathrm{PIT}_{t-1} + \alpha(A_{t-1} - \mathrm{PIT}_{t-1}) \\ &= 110 + .2(115 - 110) = 111.0 \\ T_t &= T_{t-1} + \delta(F_t - \mathrm{PIT}_{t-1}) \\ &= 10 + .3(111 - 110) = 10.3 \\ \mathrm{PIT}_t &= F_t + T_t = 111.0 + 10.3 = 121.3 \end{aligned}$$

Si, en lugar de 121.3, la realidad resulta ser 120, la secuencia se repetiría y el pronóstico para el siguiente periodo sería

$$\begin{aligned} F_{t+1} &= 121.3 + .2(120 - 121.3) = 121.04 \\ T_{t+1} &= 10.3 + .3(121.04 - 121.3) = 10.22 \\ \mathrm{PIT}_{t+1} &= 121.04 + 10.22 = 131.26 \end{aligned}$$

●

Elección del valor apropiado para alfa La suavización exponencial requiere dar a la constante de suavización alfa (α) un valor entre 0 y 1. Si la demanda real es estable (como la demanda de electricidad o alimentos) sería deseable un alfa pequeña para reducir los efectos de los cambios de corto plazo o aleatorios. Si la demanda real aumenta o disminuye con rapidez (como en los artículos de moda o aparatos electrodomésticos menores), lo deseable es un alfa alta para tratar de seguirle el paso al cambio. Sería ideal poder proyectar qué alfa se debe usar. Por desgracia, hay dos elementos en contra. En primer lugar se necesitaría mucho tiempo para determinar la constante alfa que se adapte mejor a los datos reales, y el proceso sería tedioso. En segundo lugar, como la demanda cambia, quizá pronto sea necesario revisar la constante alfa que se eligió esta semana. Por tanto, se necesita un método automático para rastrear y cambiar los valores alfa.

Hay dos estrategias para controlar el valor de alfa. Una de ellas utiliza distintos valores de alfa, y la otra, una señal de seguimiento.

1. **Dos o más valores predeterminados de alfa.** Se mide la cantidad de error entre el pronóstico y la demanda real. Según el grado de error se utilizan distintos valores de alfa. Si el error es grande, alfa es 0.8; si el error es pequeño, alfa es 0.2.
2. **Valores calculados de alfa.** Una constante de rastreo alfa calcula si el pronóstico sigue el paso a los cambios genuinos hacia arriba o hacia abajo en la demanda (en contraste con los cambios aleatorios). En esta aplicación, la constante de rastreo alfa se define como el error real suavizado exponencialmente dividido entre el error absoluto suavizado exponencialmente. Alfa cambia de un periodo a otro en el rango posible de 0 a 1.

ERRORES DE PRONÓSTICO

El término *error* se refiere a la diferencia entre el valor de pronóstico y lo que ocurrió en realidad. En estadística, estos errores se conocen como *residuales*. Siempre y cuando el valor del pronóstico se encuentre dentro de los límites de confianza, como se verá más adelante en "Medición del error", este no es en verdad un error. Pero el uso común se refiere a la diferencia como un error.

La demanda de un producto se genera mediante la interacción de varios factores demasiado complejos para describirlos con precisión en un modelo. Por tanto, todas las proyecciones contienen algún error. Al analizar los errores de pronóstico es conveniente distinguir entre las *fuentes de error* y la *medición de errores*.

FUENTES DE ERROR

Los errores provienen de diversas fuentes. Una fuente común de la que no están conscientes muchos encargados de elaborar pronósticos es la proyección de tendencias pasadas al futuro. Por ejemplo, al hablar de errores estadísticos en el análisis de regresión, se hace referencia a las desviaciones de las observaciones de la recta de la regresión. Es común relacionar una banda de confianza (es decir, límites de control estadístico) con la recta de la regresión para reducir el error sin explicar. Pero cuando se utiliza esta recta de la regresión como dispositivo de pronóstico, es probable que el error no se defina de manera correcta mediante la banda de confianza proyectada. Esto se debe a que el intervalo de confianza se basa en los datos pasados; quizá no tomen en cuenta los puntos de datos proyectados y por tanto no se puede utilizar con la misma confianza. De hecho, la experiencia demuestra que los errores reales suelen ser mayores que los proyectados a partir de modelos de pronóstico.

Los errores se clasifican como sesgados o aleatorios. Los *errores sesgados* ocurren cuando se comete un error constante. Las fuentes de sesgo son no incluir las variables correctas, usar relaciones equivocadas entre las variables, aplicar la recta de tendencia errónea, un cambio equivocado en la demanda estacional desde el punto donde normalmente ocurre y la existencia de alguna tendencia secular no detectada. Los *errores aleatorios* se definen como aquellos que no explica el modelo de pronóstico utilizado.

MEDICIÓN DE ERRORES

Varios términos comunes para describir el grado de error son *error estándar*, *error cuadrado medio* (o *varianza*) y *desviación absoluta media*. Además, con las señales de rastreo se puede indicar cualquier sesgo positivo o negativo en el pronóstico.

El error estándar se estudia en la sección sobre regresión lineal en este capítulo. Como el error estándar es la raíz cuadrada de una función, a menudo es más conveniente utilizar la función misma. Esto se conoce como error cuadrado medio o varianza.

La **desviación absoluta media** (**DAM**) era muy frecuente en el pasado, pero después se sustituyó con la desviación estándar y las medidas de error estándar. En años recientes, la DAM regresó por su sencillez y utilidad al obtener señales de seguimiento o rastreo. La DAM es el error promedio en los pronósticos mediante valores absolutos. Es valiosa porque, al igual que la desviación estándar, mide la dispersión de un valor observado en relación con un valor esperado.

Desviación absoluta media (DAM)

La DAM se calcula con las diferencias entre la demanda real y la demanda pronosticada sin importar el signo. Es igual a la suma de las desviaciones absolutas dividida entre el número de puntos de datos o, en forma de ecuación,

$$\text{DAM} = \frac{\sum_{i=1}^{n} |A_t - F_t|}{n} \qquad \textbf{(15.11)}$$

donde

t = Número del periodo
A = Demanda real en el periodo
F = Demanda pronosticada para el periodo
n = Número total de periodos
$| \; |$ = Símbolo para indicar el valor absoluto sin tomar en cuenta los signos positivos ni negativos

Cuando los errores que ocurren en el pronóstico tienen una distribución normal (el caso más común), la desviación absoluta media se relaciona con la desviación estándar como

$$1 \text{ desviación estándar} = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \times \text{DAM, o aproximadamente 1.25 DAM}$$

Por el contrario,

$$1 \text{ DAM} = 0.8 \text{ desviaciones estándar}$$

La desviación estándar es la medida más grande. Si la DAM de un conjunto de puntos es 60 unidades, la desviación estándar es 75 unidades. En la manera estadística normal, si los límites de control se establecen en más o menos 3 desviaciones estándar (o ±63.75 DAM), entonces 99.7% de los puntos caerían dentro de estos límites.

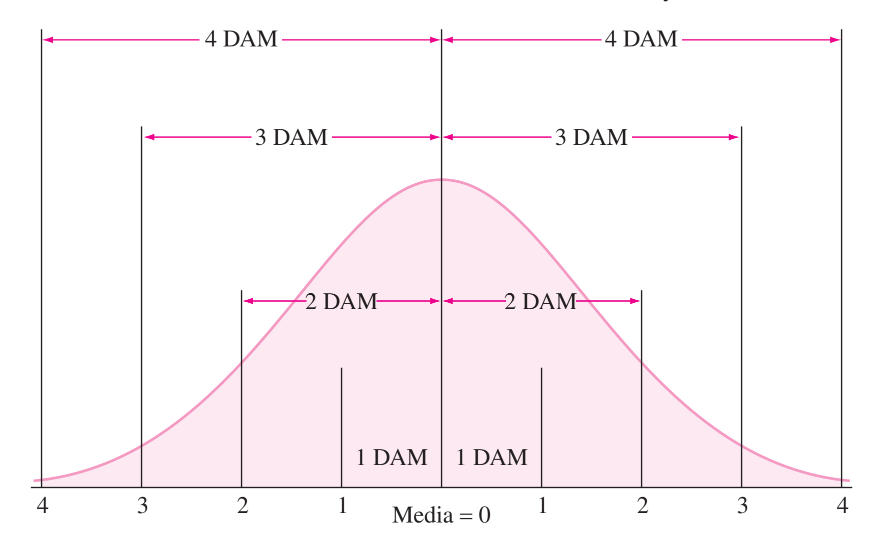
Error porcentual absoluto medio (EPAM)

Una medida adicional de error con frecuencia útil es el **error porcentual absoluto medio (EPAM)**. Esta medida determina el error respecto del promedio de demanda. Por ejemplo, si la DAM es de 10 unidades y el promedio de demanda es de 20 unidades, el error es grande e importante, pero relativamente insignificante en un promedio de demanda de 1 000 unidades. El EPAM se calcula al tomar la DAM y dividir entre el promedio de demanda,

$$\text{EPAM} = \frac{\text{DAM}}{\text{Promedio de demanda}} \qquad \textbf{(15.12)}$$

Esta es una medida útil porque es una estimación de cuánto error se espera con un pronóstico. Entonces, si la DAM fuera de 10 y el promedio de demanda de 20, el EPAM sería 50% $\left(\frac{10}{20} = 50\right)$. En el caso de un promedio de demanda de 1 000 unidades, el EPAM sería de solo 1% $\left(\frac{10}{1\,000} = 1\right)$.

ILUSTRACIÓN 15.14 Distribución normal con media = 0 y DAM = 1.



Señal de seguimiento

Una **señal de seguimiento** es una medida que indica si el promedio pronosticado sigue el paso de cualquier cambio ascendente o descendente de la demanda. Como se utiliza en el pronóstico, la señal de seguimiento es el *número* de desviaciones absolutas medias que el valor pronosticado se encuentra por encima o por debajo de los hechos reales. La ilustración 15.14 muestra una distribución normal con una media de 0 y una DAM igual a 1. Por tanto, si se calcula la señal de seguimiento y se encuentra que es igual a menos 2, se ve que el modelo de pronóstico ofrece pronósticos por encima de la media de los hechos reales.

Una señal de seguimiento (SS) se calcula con la suma aritmética de las desviaciones pronosticadas dividida entre la desviación absoluta media:

$$SS = \frac{SCEP}{DAM} \quad (15.13)$$

donde

SCEP = Suma corriente de los errores pronosticados considerando la naturaleza del error (por ejemplo, los errores negativos cancelan los errores positivos y viceversa).

DAM = Promedio de todos los errores pronosticados (sin importar si las desviaciones son positivas o negativas). Es el promedio de las desviaciones absolutas.

La ilustración 15.15 muestra el procedimiento para calcular la DAM y la señal de seguimiento para un periodo de seis meses donde el pronóstico se estableció en una constante de 1 000 y se muestran las demandas totales que ocurrieron. En este ejemplo, el pronóstico en promedio se aleja 66.7 unidades y la señal de seguimiento es igual a 3.3 desviaciones absolutas medias.

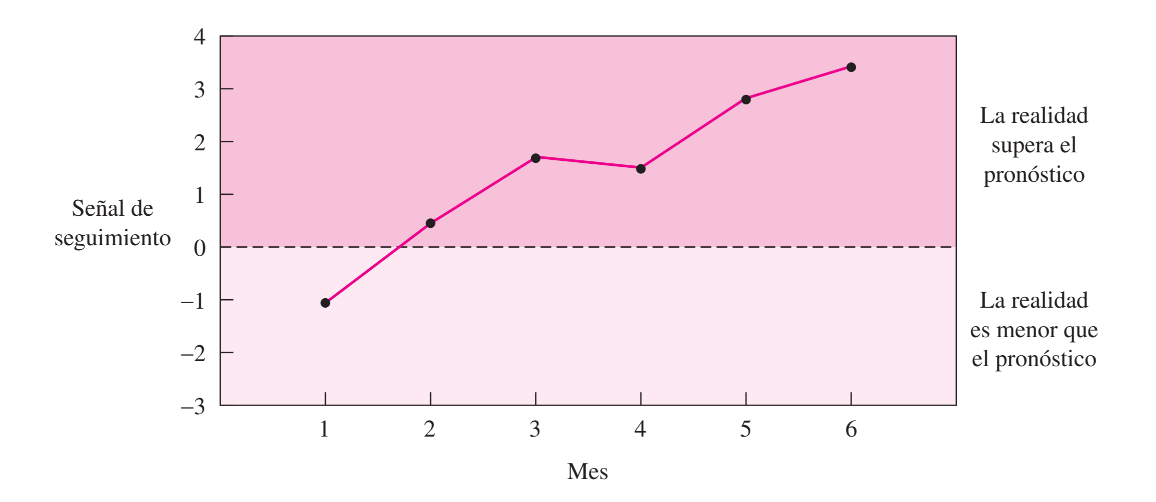
ILUSTRACIÓN 15.15 Cálculo de la desviación absoluta media (DAM), la suma corriente de los errores en el pronóstico (SCEP) y la señal de seguimiento (SS) a partir del pronóstico y los datos reales.

Mes	Pronóstico de la demanda	Real	Desviación	SCEP	Desv. abs.	Suma de desv. abs.	DAM*	SS = SCEP† / DAM
1	1 000	950	–50	–50	50	50	50	–1
2	1 000	1 070	+70	+20	70	120	60	.33
3	1 000	1 100	+100	+120	100	220	73.3	1.64
4	1 000	960	–40	+80	40	260	65	1.2
5	1 000	1 090	+90	+170	90	350	70	2.4
6	1 000	1 050	+50	+220	50	400	66.7	3.3

* Para el mes 6, DAM = 400 ÷ 6 = 66.7.

† Para el mes 6, $SS = \frac{SCEP}{DAM} = \frac{220}{66.7} = 3.3$ DAM.

Excel: Pronóstico



Se obtiene una mejor idea de lo que significan la DAM y la señal de seguimiento al trazar los puntos en una gráfica. Aunque esto no es del todo legítimo desde el punto de vista del tamaño de la muestra, se traza cada mes en la ilustración 15.15 para mostrar el cambio de la señal de seguimiento. Observe que cambió de menos 1 DAM a más 3.3 DAM. Esto sucedió porque la demanda real fue mayor que el pronóstico en cuatro de los seis periodos. Si la demanda real no cayera por debajo del pronóstico para compensar la SCEP positiva continua, la señal de seguimiento se mantendría en aumento y se llegaría a la conclusión de que suponer una demanda de 1 000 constituye un mal pronóstico.

Pronóstico de relaciones causales

Relación causal

El pronóstico de relación causal recurre a variables independientes distintas del tiempo para predecir la demanda. Para que un pronóstico sea de valor, cualquier variable independiente debe ser un indicador guía. Por ejemplo, cabe esperar que un periodo de lluvias más prolongado aumente la venta de paraguas y gabardinas. La lluvia provoca la venta de artículos personales para este clima. Se trata de una **relación causal** en la que un hecho causa otro. Si se sabe del elemento de causa con mucha anticipación, se puede usar como base para el pronóstico.

El primer paso del pronóstico de una relación causal es encontrar los hechos que realmente sean la causa. Muchas veces los indicadores guía no son relaciones causales sino que indican, de cierta forma indirecta, que pueden ocurrir otras cosas. Otras relaciones no causales tan solo parecen existir como coincidencia. El siguiente es un ejemplo de pronóstico mediante una relación causal.

Paso por paso

EJEMPLO 15.5: Pronóstico mediante una relación causal

Carpet City Store en Carpenteria lleva registros anuales de sus ventas de alfombras (en yardas cuadradas), además del número de licencias para casas nuevas en esta área.

Cantidad de casas nuevas

Año	Licencias	Ventas (en yardas cuadradas)
1999	18	13 000
2000	15	12 000
2001	12	11 000
2002	10	10 000
2003	20	14 000
2004	28	16 000
2005	35	19 000
2006	30	17 000
2007	20	13 000

El gerente de operaciones de Carpet City cree que es posible pronosticar las ventas si se conocen los inicios de proyectos habitacionales del año. En primer lugar se grafican los datos en la ilustración 15.16, con

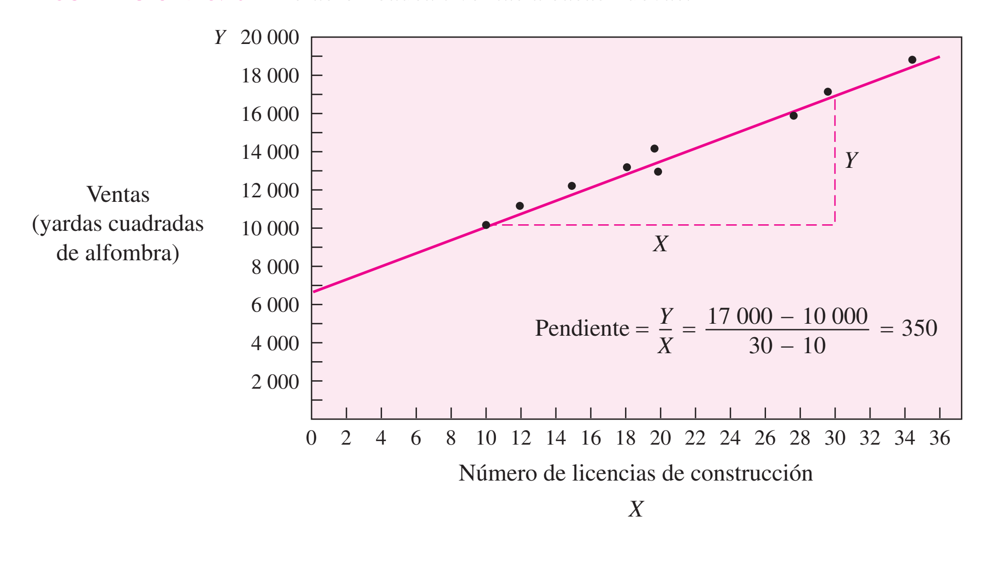
x = Número de licencias de construcción
y = Ventas de alfombras

Como los puntos están sobre una recta, el gerente decide usar la relación lineal $Y = \alpha + bx$. El problema se resuelve al trazar a mano una recta. También puede resolverse esta ecuación con la regresión por mínimos cuadrados, como se hizo antes.

Solución

Proyectar la recta trazada a mano hace que toque el eje de las Y en unas 7 000 yardas. Esto puede interpretarse como la demanda cuando no se construyen casas; es decir, tal vez como sustitución de alfombras viejas. Para calcular la pendiente se seleccionan dos puntos, como

ILUSTRACIÓN 15.16 Relación causal: ventas a casas nuevas.



Excel: Pronóstico

Año	x	y
2005	10	10 000
2009	30	17 000

La pendiente se calcula algebraicamente como

$$b = \frac{y(2009) - y(2005)}{x(2009) - x(2005)} = \frac{17\,000 - 10\,000}{30 - 10} = \frac{7\,000}{20} = 350$$

El gerente interpreta la pendiente como el promedio de yardas cuadradas de alfombra vendidas a cada casa nueva de la zona. Por tanto, la ecuación de pronóstico es

$$Y = 7\,000 + 350x$$

Ahora suponga que hay 25 licencias para construir casas en 2010. Por tanto, el pronóstico de las ventas para 2010 sería:

$$7\,000 + 350(25) = 15\,750 \text{ yardas cuadradas}$$

En este problema, la demora entre pedir la licencia en la oficina correspondiente y la llegada del nuevo dueño a Carpet City a comprar alfombra es una relación causal viable para el pronóstico. ●

ANÁLISIS DE REGRESIÓN MÚLTIPLE

Otro método de pronóstico es el análisis de regresión múltiple, en el que se considera cierto número de variables, junto con los efectos de cada una en el rubro de interés. Por ejemplo, en el campo del mobiliario doméstico, los efectos del número de matrimonios, construcción de viviendas, ingreso disponible y tendencias se expresa en una ecuación de regresión múltiple como:

$$S = B + B_m(M) + B_h(H) + B_i(I) + B_t(T)$$

donde

S = Ventas brutas anuales
B = Ventas de base, punto de partida a partir del que otros factores ejercen una influencia
M = Matrimonios durante el año
H = Construcción de viviendas durante el año
I = Ingreso personal disponible anual
T = Tendencia temporal (primer año = 1, segundo = 2, tercero = 3, etcétera)

B_m, B_h, B_i y B_t representan la influencia en las ventas esperadas del número de matrimonios y construcción de viviendas, ingreso y tendencia.

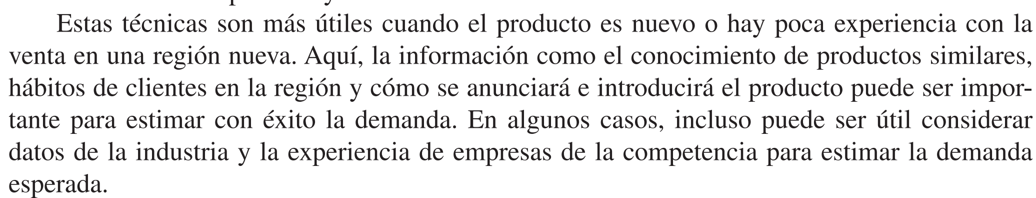
Es aconsejable un pronóstico con regresión múltiple cuando varios factores influyen en la variable de interés; en este caso, las ventas. Su dificultad radica en los cálculos matemáticos. Por fortuna hay programas estándares de cómputo para análisis de regresión múltiple, lo que alivia la necesidad de hacer tediosos cálculos manuales.

Microsoft Excel soporta técnicas de análisis de series de tiempo descritas en esta sección. Estas funciones se encuentran en las herramientas para el análisis de datos con suavización exponencial, promedios móviles y regresión.

Técnicas cualitativas de pronóstico

Servicio

En general, las técnicas de pronóstico cualitativo aprovechan el conocimiento de expertos y requieren mucho juicio. Comúnmente, estas técnicas abarcan procesos bien definidos para quienes participan en el ejercicio de pronosticar. Por ejemplo, en el caso de pronosticar la demanda de nueva mercancía de moda en una tienda minorista, la compañía incluye una combinación de clientes comunes para expresar preferencias y de gerentes de tienda que entienden de mezcla de productos y de volúmenes en la tienda, donde ven la mercancía y efectúan toda una serie de ejercicios diseñados para llevar el grupo a una estimación de consenso. El punto es que estos no son cálculos sin sentido en lo que se refiere a la demanda esperada, sino que más bien comprenden un método bien pensado y una toma de decisiones estructurada.



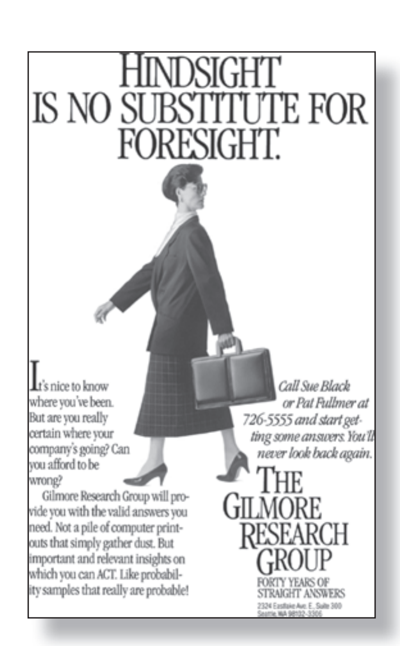
Estas técnicas son más útiles cuando el producto es nuevo o hay poca experiencia con la venta en una región nueva. Aquí, la información como el conocimiento de productos similares, hábitos de clientes en la región y cómo se anunciará e introducirá el producto puede ser importante para estimar con éxito la demanda. En algunos casos, incluso puede ser útil considerar datos de la industria y la experiencia de empresas de la competencia para estimar la demanda esperada.

A continuación veremos ejemplos de técnicas cualitativas de pronóstico.

Investigación de mercado

A menudo, las empresas contratan a empresas externas que se especializan en la *investigación de mercado* para realizar este tipo de pronóstico. Es probable que usted haya participado en estudios de mercado por medio de una clase de marketing; y seguramente no se ha escapado a las llamadas telefónicas en las que le preguntan sobre sus preferencias por ciertos productos, su ingreso, sus hábitos, etcétera.

La investigación de mercados se utiliza sobre todo para la investigación de productos con el objetivo de buscar nuevas ideas, conocer los gustos y disgustos relacionados con los productos existentes, los productos competitivos preferidos en una clase en particular, etc. Una vez más, los métodos de recopilación de datos son sobre todo encuestas y entrevistas.



Diversas empresas, como The Gilmore Research Group, ahora ofrecen a los comerciantes software o bases de datos para ayudarlos a efectuar pronósticos de ventas más precisos para áreas del mercado, productos o segmentos específicos.

Grupos de consenso

En un *grupo de consenso*, la idea de que dos cabezas piensan más que una se extrapola a la idea de que un grupo de personas que ocupan diversas posiciones elaboran un pronóstico más confiable que un grupo más reducido. Los pronósticos en grupo se realizan por medio de reuniones abiertas con un intercambio libre de ideas de todos los niveles gerenciales e individuales. El problema con este estilo abierto es que los empleados de niveles inferiores se sienten intimidados por los niveles más altos de la gerencia. Por ejemplo, un vendedor en una línea de productos en particular puede tener un buen estimado de la demanda futura de un producto, pero quizá no se exprese para refutar un estimado muy diferente dado por el vicepresidente de marketing. La técnica de Delphi (que se estudia en forma breve) se desarrolló para tratar de corregir este impedimento del libre intercambio de ideas.

Cuando las decisiones en el pronóstico se toman en un nivel más amplio y alto (como al introducir una nueva línea de productos o al tomar decisiones estratégicas sobre un

producto, como en nuevas áreas de mercado), se utiliza el término *juicio ejecutivo*, que se explica por sí mismo: participa un nivel gerencial más alto.

Analogía histórica

Al tratar de pronosticar la demanda de un nuevo producto, una situación ideal sería contar con un producto existente o genérico como modelo. Existen muchas formas de clasificar estas analogías; por ejemplo, productos complementarios, productos sustituibles o competitivos, y productos como función del ingreso. Una vez más, seguramente ha recibido gran cantidad de productos que se anuncian por correo en una categoría similar a un producto comprado por catálogo, internet o correo. Si alguna vez ha comprado un DVD por correo, recibirá más correspondencia acerca de esos DVD y reproductores de DVD nuevos. Una relación causal sería que la demanda de discos compactos se activa por la demanda de reproductores de DVD. Una analogía sería pronosticar la demanda de reproductores de videodiscos digitales al analizar la demanda histórica de VCR. Los productos se encuentran en la misma categoría general de aparatos electrónicos y los compran consumidores en categorías similares. Un ejemplo más sencillo son tostadores y cafeteras. Una empresa que produce tostadores y quiere fabricar cafeteras puede utilizar el historial de los tostadores como modelo de crecimiento probable.

Método Delphi

Como se apuntó en la sección sobre los grupos de consenso, es probable que la afirmación u opinión de una persona de un nivel superior pese más que la de una persona de nivel inferior. El peor de los casos se presenta cuando la gente de nivel inferior se siente amenazada y no contribuye con lo que realmente cree. Para evitar este problema, el *método Delphi* oculta la identidad de los individuos que participan en el estudio. Todos tienen el mismo peso. En cuanto al procedimiento, un moderador elabora un cuestionario y lo distribuye entre los participantes. Sus respuestas se suman y se entregan a todo el grupo con un nuevo grupo de preguntas.

El procedimiento paso a paso es:

1. Elegir a los expertos que van a participar. Debe haber gran variedad de personas con conocimientos en distintas áreas.
2. Por medio de un cuestionario (o correo electrónico), obtener las proyecciones (y cualquier premisa o calificación para el pronóstico) de todos los participantes.
3. Resumir los resultados y redistribuirlos entre los participantes con las preguntas nuevas apropiadas.
4. Volver a resumir, refinar las proyecciones y condiciones, y una vez más plantear preguntas nuevas.
5. Repetir el paso 4, si es necesario. Distribuir los resultados finales entre todos los participantes.

Por lo regular, la técnica Delphi logra resultados satisfactorios en tres rondas. El tiempo requerido es una función del número de participantes, la cantidad de trabajo para que planteen sus pronósticos y su rapidez de respuesta.

Pronóstico en la red: planificación, pronóstico y resurtido en colaboración (CPFR)[5]

La **planificación, pronóstico y resurtido en colaboración** (CPFR, por sus siglas en inglés) es una herramienta de internet para coordinar el pronóstico de la demanda, la planificación de la producción y las compras y resurtido de inventarios entre socios comerciales de la cadena de suministro. La CPFR se usa como medio de integrar a todos los miembros de una cadena de suminis-

Planificación, pronóstico y resurtido en colaboración

[5] Gracias especiales a Gene Fliedner por su ayuda con esta sección. Gene Fliedner, "Hierarchical Forecasting: Issues and Use Guidelines", *Industrial Management & Data Systems* 101, núm. 1, 2001, pp. 5-12.

tro de *n* puntos, inclusive fabricantes, distribuidores y vendedores minoristas. Como se muestra en la ilustración 15.17, el punto ideal de colaboración mediante CPFR es el pronóstico de la demanda en el nivel del menudeo, con el que luego se sincronizan pronósticos y planes de producción y resurtido hacia los eslabones anteriores de la cadena de suministro.

Cadena de suministro

A la fecha, aunque la metodología es aplicable a cualquier industria, las aplicaciones de CPFR se centran sobre todo en alimentos, ropa y mercancía general. Los posibles beneficios de compartir la información para mejorar la visibilidad de la planificación son enormes para cualquier cadena de suministro. Se han propuesto varias estimaciones de los ahorros de costos atribuibles a mejorar la coordinación de la cadena de suministro, por ejemplo, 30 000 millones de dólares nada más en la industria alimentaria.[6]

El objetivo de la CPFR es intercambiar información interna selecta en un servidor de la red compartido con el fin de ofrecer panorámicas confiables y de largo plazo sobre la demanda futura en la cadena de suministro. La CPFR usa un enfoque cíclico e iterativo para derivar pronósticos consensuados en la cadena. Consiste en los siguientes cinco pasos:

Paso 1. Creación de un acuerdo de asociación del lado del cliente. Este acuerdo especifica: 1) objetivos (como reducción de inventarios, eliminación de ventas perdidas, menor obsolescencia de productos) que se pretenden alcanzar mediante colaboración, 2) necesidades de recursos para la colaboración (por ejemplo, hardware, software, medidas de desempeño) y 3) expectativas de confidencialidad sobre la confianza imprescindible como requisito para compartir la información delicada de la compañía, que representa un obstáculo importante para su instrumentación.

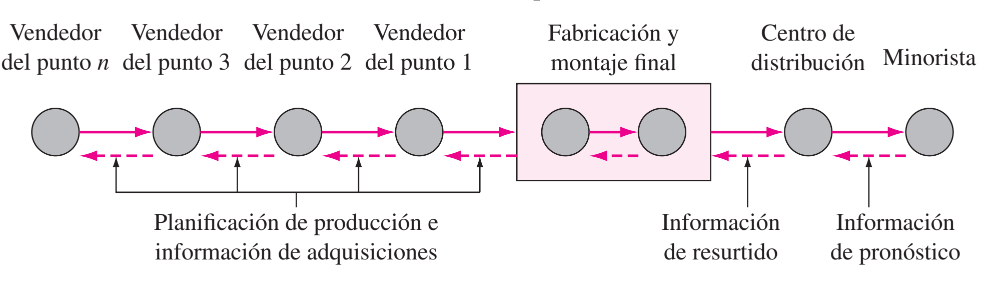
Paso 2. Planificación conjunta de negocios. Normalmente, los socios crean estrategias de asociación, diseñan un calendario conjunto en el que se identifica la secuencia y frecuencia de las actividades de planificación que se siguen para influir en los ritmos de producción y se especifican los criterios de excepción para manejar las variaciones planificadas entre los pronósticos de la demanda de los socios comerciales.

Paso 3. Elaboración de pronósticos de demanda. La elaboración de pronósticos puede apegarse a los procedimientos establecidos en la compañía. Las tiendas deben desempeñar un papel crucial, porque compartir los datos de los *puntos de venta* permite expectativas más acertadas y oportunas (a diferencia de extrapolar retiros de almacén o acumular pedidos en tiendas) tanto para vendedores minoristas como para proveedores. Por la frecuencia con que se generan pronósticos y la posibilidad de que muchos artículos requieran que se preparen pronósticos, por lo regular en la CPFR se usa algún procedimiento de pronóstico simple, como el promedio móvil. Es fácil usar técnicas simples junto con los conocimientos expertos de actos de promoción o rebaja para modificar los valores pronosticados en consecuencia.

Paso 4. Difundir los pronósticos. A continuación, vendedores minoristas (pronósticos de pedidos) y proveedores (pronósticos de ventas) publican electrónicamente sus últimos pronósticos de una lista de productos en un servidor compartido dedicado. El servidor examina

ILUSTRACIÓN 15.17 Cadena de suministro de *n* puntos con actividades de menudeo.

Cadena de suministro



[6] Marshall L. Fisher, "What Is the Rigth Supply Chain for Your Product?", *Harvard Business Review*, marzo-abril de 1997, pp. 105-116.

pares de pronósticos correspondientes y expide una nota de excepción sobre cualquier par de pronósticos cuando la diferencia supera un margen de seguridad establecido con antelación (por ejemplo, de 5%). Si se excede el margen de seguridad, los planificadores de las dos empresas colaboran por vía electrónica para llegar a un pronóstico de consenso.

Paso 5. Resurtido de inventario. Cuando coinciden los pronósticos correspondientes, el pronóstico de pedidos se convierte en pronóstico real, lo que activa el proceso de resurtido. Cada uno de estos pasos se repite iterativamente en un ciclo continuo en el que se varían los tiempos, por productos individuales y según calendario de sucesos establecido entre los socios comerciales. Por ejemplo, los socios pueden revisar el acuerdo de asociación del lado del cliente cada año, evaluar cada trimestre los planes comerciales conjuntos, desarrollar pronósticos de la demanda semanales o mensuales y resurtir a diario.

El intercambio oportuno de información entre los socios comerciales ofrece impresiones confiables y de más largo plazo sobre el futuro de la demanda en la cadena de suministro. La visibilidad hacia adelante, basada en compartir la información, trae diversos beneficios a las asociaciones en las cadenas de suministro.

Como ocurre con la mayoría de las nuevas iniciativas corporativas hay escepticismo y resistencia al cambio. Uno de los escollos más grandes para la colaboración es la falta de confianza sobre lo completo de la información que se comparte entre socios de la cadena de suministro. El objetivo contradictorio entre un proveedor que quiere maximizar sus utilidades y un cliente que quiere reducir al mínimo sus costos da lugar a relaciones opuestas en la cadena de suministro. Compartir datos operativos delicados puede permitir a un socio comercial aprovecharse del otro. Del mismo modo, una barrera a la ejecución es el potencial de perder el control. Algunas empresas se sienten justamente preocupadas por la idea de colocar en línea datos estratégicos, como informes financieros, programas de manufactura e inventarios. Las compañías quedan expuestas a fracturas de seguridad. Los acuerdos de asociación del lado del cliente, acuerdos de confidencialidad y acceso limitado a la información ayudan a superar estos temores.

Resumen

No es fácil elaborar un sistema de pronóstico. Sin embargo, debe hacerse, porque pronosticar es fundamental en cualquier esfuerzo de planificación. En el corto plazo se necesita un pronóstico para predecir las necesidades de materiales, productos, servicios u otros recursos para responder a los cambios de la demanda. Los pronósticos permiten ajustar los calendarios y variar la mano de obra y los materiales. A la larga, se requiere pronosticar como base para los cambios estratégicos, como el desarrollo de mercados nuevos, creación de nuevos productos o servicios y ampliar o construir nuevas instalaciones.

En el caso de los pronósticos de medio y largo plazos en los que se incurra en grandes compromisos económicos, debe tenerse mucho cuidado al derivarlos. Deben usarse varios métodos. Los métodos de análisis de regresión simple o regresión múltiple son los mejores, pues dan una base para realizar estudios. Deben considerarse factores económicos, tendencias de productos, factores de crecimiento y competencia, así como muchas otras posibles variables, y el pronóstico debe ajustarse para que refleje la influencia de cada uno.

Los pronósticos de corto y mediano plazos (como los que se requieren para el control de inventario así como calendarización de contratación de empleados y de material) pueden ser satisfactorios para modelos simples, como de suavización exponencial, quizá con una característica de adaptación o un índice estacional. En estas aplicaciones suelen pronosticarse miles de activos. La rutina de pronóstico debe ser sencilla y ejecutarse con rapidez en una computadora. Las rutinas también deben detectar y responder con celeridad a cambios definidos de corto plazo en la demanda, al tiempo que se ignoren las demandas espurias ocasionales. La suavización exponencial, cuando la gerencia la supervisa para controlar el valor de alfa, es una técnica eficaz.

Los sistemas de pronóstico en colaboración por internet que combinan métodos de pronóstico serán la ola del futuro en muchas industrias. Compartir información entre socios comerciales

con enlaces directos al sistema de PRE de cada empresa garantiza una información rápida y sin errores con un costo muy bajo.

En resumen, pronosticar es difícil. Un pronóstico perfecto es como un "hoyo en uno" en el golf: es sensacional atinarle, pero hay que sentirse satisfecho con acercarse; o, para proseguir con la analogía, basta caer en el *green*. La filosofía ideal es crear el mejor pronóstico posible y protegerse manteniendo la flexibilidad del sistema para tener en cuenta los inevitables errores de pronóstico.

Conceptos clave

Pronósticos estratégicos Pronósticos para mediano y largo plazos con que se toman decisiones relacionadas con el diseño y planes para satisfacer una demanda.

Pronósticos tácticos Pronósticos de corto plazo que se emplean como entrada para tomar decisiones diarias destinadas a satisfacer una demanda.

Demanda dependiente Necesidades de un producto o servicio incitadas por la demanda de otros servicios o productos. Esta demanda interna no tiene que pronosticarse, pero puede calcularse a partir de la demanda de otros productos o servicios.

Demanda independiente Demanda que no puede derivarse directamente de la demanda de otros productos.

Análisis de series de tiempo Tipo de pronóstico en que se anticipa la demanda futura con datos relacionados con la demanda anterior.

Pronóstico de regresión lineal Técnica de pronóstico que supone que los datos del pasado y las proyecciones para el futuro se ubican en torno a una línea recta.

Suavización exponencial Técnica de pronóstico por series de tiempo en la que cada incremento de los datos de la demanda anterior aminora en $(1 - \alpha)$.

Constante de suavización alfa (α) Parámetro de la ecuación de suavización exponencial que controla la velocidad de reacción ante las diferencias entre los pronósticos y la demanda real.

Constante de suavización delta (δ) Parámetro adicional de la ecuación de suavización exponencial que comprende un ajuste de la tendencia.

Desviación absoluta media (DAM) Error promedio del pronóstico con valores absolutos de error de cada pronóstico anterior.

Error porcentual absoluto medio (EPAM) Desviación absoluta media dividida entre el promedio de demanda. Es el promedio de error expresado como porcentaje de demanda.

Señal de seguimiento Medida que indica si el promedio del pronóstico concuerda con alzas o bajas verdaderas de la demanda.

Relación causal Situación en la que un suceso es causa de otro. Si el suceso está muy distante en el futuro, sirve como base para un pronóstico.

Planificación, pronóstico y resurtido en colaboración (CPFR) Herramienta de internet para coordinar pronósticos, producción y adquisiciones en la cadena de suministro de una empresa.

Revisión de fórmulas

Regresión de mínimos cuadrados

$$Y = a + bx \tag{15.1}$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \tag{15.2}$$

$$b = \frac{\sum xy - n\bar{x} \cdot \bar{y}}{\sum x^2 - n\bar{x}^2} \tag{15.3}$$

Error estándar del estimado

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum_{i-1}^{n} (y_i - Y_i)^2}{n - 2}} \tag{15.4}$$

Promedio móvil simple

$$F_t = \frac{A_{t-1} + A_{t-2} + A_{t-3} + \cdots + A_{t-n}}{n} \tag{15.5}$$

Promedio móvil ponderado

$$F_t = w_1A_{t-1} + w_2A_{t-2} + \cdots + w_nA_{t-n} \tag{15.6}$$

Suavización exponencial simple

$$F_t = F_{t-1} + \alpha(A_{t-1} - F_{t-1}) \tag{15.7}$$

Suavización exponencial con tendencia

$$\mathrm{PIT}_t = F_t + T_t \quad \textbf{(15.8)}$$

$$F_t = \mathrm{PIT}_{t-1} + \alpha(A_{t-1} - \mathrm{PIT}_{t-1}) \quad \textbf{(15.9)}$$

$$T_t = T_{t-1} + \delta(F_t - \mathrm{PIT}_{t-1}) \quad \textbf{(15.10)}$$

Desviación absoluta media

$$\mathrm{DAM} = \frac{\sum_{i=1}^{n} |A_t - F_t|}{n} \quad \textbf{(15.11)}$$

Error porcentual absoluto medio

$$\mathrm{EPAM} = \frac{\mathrm{DAM}}{\text{Promedio de demanda}} \quad \textbf{(15.12)}$$

Señal de seguimiento

$$\mathrm{SS} = \frac{\mathrm{SCEP}}{\mathrm{DAM}} \quad \textbf{(15.13)}$$

Problemas resueltos

Problema resuelto 1

Se presentan los datos por trimestres de los últimos dos años. Con estos datos prepare, mediante descomposición, un pronóstico para el año siguiente.

Excel: Pronóstico

Periodo	Real	Periodo	Real
1	300	5	416
2	540	6	760
3	885	7	1 191
4	580	8	760

Solución

(Observe que los valores que obtenga pueden ser un poco diferentes por redondeo. Los valores dados aquí se obtuvieron con una hoja de cálculo de Excel.)

(1) Periodo x	(2) Real y	(3) Promedio del periodo	(4) Factor estacional	(5) Demanda no estacional
1	300	358	0.527	568.99
2	540	650	0.957	564.09
3	885	1 038	1.529	578.92
4	580	670	0.987	587.79
5	416		0.527	789.01
6	760		0.957	793.91
7	1 191		1.529	779.08
8	760		0.987	770.21
Total	5 432	2 716	8.0	
Promedio	679	679	1	

La columna 3 es el promedio estacional. Por ejemplo, el promedio del primer trimestre es

$$\frac{300 + 416}{2} = 358$$

La columna 4 es el promedio por trimestres (columna 3) dividido entre el promedio general (679). La columna 5 son datos reales divididos entre el índice estacional. Para determinar x^2 y xy se elabora la tabla siguiente:

	Periodo x	Demanda sin factor estacional (y_d)	x^2	xy
	1	568.99	1	569.0
	2	564.09	4	1 128.2
	3	578.92	9	1 736.7
	4	587.79	16	2 351.2
	5	789.01	25	3 945.0
	6	793.91	36	4 763.4
	7	779.08	49	5 453.6
	8	770.21	64	6 161.7
Sumas	36	5 432	204	26 108.8
Promedio	4.5	679		

Ahora se calculan los resultados de la regresión para los datos sin factores estacionales.

$$b = \frac{(26\,108) - (8)(4.5)(679)}{(204) - (8)(4.5)^2} = 39.64$$

$$a = \overline{Y} = b\overline{x}$$

$$a = 679 = 39.64(4.5) = 500.6$$

Por consiguiente: los resultados de la regresión sin los factores estacionales son

$$Y = 500.6 + 39.64x$$

Periodo	Pronóstico de tendencia		Factor estacional		Pronóstico final
9	857.4	×	0.527	=	452.0
10	897.0	×	0.957	=	858.7
11	936.7	×	1.529	=	1 431.9
12	976.3	×	0.987	=	963.4

Problema resuelto 2

Excel: Pronóstico

Sunrise Baking Company vende donas en una cadena de tiendas de alimentos. Debido a errores de los pronósticos ha tenido una producción excesiva o insuficiente. Los siguientes datos son su demanda de docenas de donas en las últimas cuatro semanas. Las donas se hacen para el día siguiente; por ejemplo, la producción de donas del domingo es para las ventas del lunes, la producción de donas del lunes es para las ventas del martes, etc. La panadería cierra los sábados, de modo que la producción del viernes debe satisfacer la demanda de sábado y domingo.

	Hace 4 semanas	Hace 3 semanas	Hace 2 semanas	Semana pasada
Lunes	2 200	2 400	2 300	2 400
Martes	2 000	2 100	2 200	2 200
Miércoles	2 300	2 400	2 300	2 500
Jueves	1 800	1 900	1 800	2 000
Viernes	1 900	1 800	2 100	2 000
Sábado				
Domingo	2 800	2 700	3 000	2 900

Elabore un pronóstico para esta semana según este esquema:

a) Diario, con un promedio móvil simple de cuatro semanas.
b) Diario, con un promedio móvil ponderado de 0.40, 0.30, 0.20 y 0.10 para las últimas cuatro semanas.
c) Sunrise también planifica sus compras de ingredientes para la producción de pan. Si la semana pasada se pronosticó una demanda de pan de 22 000 hogazas y solo se demandaron 21 000, ¿cuál debe ser la demanda que pronostique Sunrise para esta semana, con una suavización exponencial de $\alpha = 0.10$?

d) Suponga, con el pronóstico de *c*), que la demanda de esta semana resulta de 22 500 hogazas. ¿Cuál sería el nuevo pronóstico de la semana siguiente?

Solución

a) Promedio móvil simple, cuatro semanas.

Lunes $\frac{2\,400 + 2\,300 + 2\,400 + 2\,200}{4} = \frac{9\,300}{4} = 2\,325$ docenas

Martes $= \frac{8\,500}{4} = 2\,125$ docenas

Miércoles $= \frac{9\,500}{4} = 2\,375$ docenas

Jueves $= \frac{7\,500}{4} = 1\,875$ docenas

Viernes $= \frac{7\,800}{4} = 1\,950$ docenas

Sábado y domingo $= \frac{11\,400}{4} = 2\,850$ docenas

b) Promedio ponderado con ponderaciones de .40, .30, .20 y .10.

	(.10)		(.20)		(.30)		(.40)		
Lunes	220	+	480	+	690	+	960	=	2 350
Martes	200	+	420	+	660	+	880	=	2 160
Miércoles	230	+	480	+	690	+	1 000	=	2 400
Jueves	180	+	380	+	540	+	800	=	1 900
Viernes	190	+	360	+	630	+	800	=	1 980
Sábado y domingo	280	+	540	+	900	+	1 160	=	2 880
	1 300	+	2 660	+	4 110	+	5 600	=	13 670

c) Pronóstico de suavización exponencial de la demanda de pan

$$F_t = F_{t-1} + \alpha(A_{t-1} - F_{t-1})$$
$$= 22\,000 + 0.10(21\,000 - 22\,000)$$
$$= 22\,000 - 100 = 21\,900 \text{ hogazas}$$

d) Pronóstico exponencialmente suavizado

$$F_{t+1} = 21\,900 + .10(22\,500 - 21\,900)$$
$$= 21\,900 + .10(600) = 21\,960 \text{ hogazas}$$

Problema resuelto 3

Lo que sigue es la demanda real de un producto durante los últimos seis trimestres. Con las reglas 1 a 5 del pronóstico enfocado, encuentre la mejor regla para pronosticar el tercer trimestre del año.

	Trimestre			
	I	II	III	IV
Año pasado	1 200	700	900	1 100
Este año	1 400	1 000		

Solución

Regla 1: Demanda de los próximos tres meses = demanda de los últimos tres meses.

Prueba de esta demanda en los últimos tres meses: $F_{II} = A_I$; por tanto, $F_{II} = 1\,400$.

La demanda real fue de 1 000, así que $\frac{1\,000}{1\,400} = 71.4\%$.

Regla 2: La demanda de este trimestre es igual a la demanda del mismo trimestre del año pasado.
Por tanto, el pronóstico de la demanda del segundo trimestre de este año será de 700, el monto de ese trimestre el año anterior.

La demanda real fue de 1 000, y $\frac{1\,000}{700} = 142.9\%$.

Regla 3: 10% más que el último trimestre.

$$F_{II} = 1\,400 \times 1.10 = 1\,540$$

La demanda real fue de 1 000, y $\frac{1\,000}{1\,540} = 64.9\%$.

Regla 4: 50% más que el mismo trimestre del año anterior.

$$F_{II} = 700 \times 1.50 = 1\,050$$

La demanda real fue de 1 000, y $\frac{1\,000}{1\,050} = 95.2\%$.

Regla 5: Misma tasa de aumento o decremento de los últimos tres meses.

$$\frac{1\,400}{1\,200} = 1.167$$

$$F_{II} = 700 \times 1.167 = 816.7$$

La demanda real fue de 1 000, así que $\frac{1\,000}{816.7} = 122.4\%$.

La regla 4 fue la que más se acercó a pronosticar el último trimestre: 95.2%, o apenas 4.8% menos. Con esta regla (50% más que el mismo trimestre del año anterior) se pronosticaría el tercer trimestre del año como 50% más que el tercer trimestre del año pasado, o

$$\text{Este año } F_{III} = 1.50\,A_{III} \text{ (año pasado)}$$
$$F_{III} = 1.50(900) = 1\,350 \text{ unidades}$$

Problema resuelto 4

Excel: Pronóstico

La demanda de un producto se pronosticó con un modelo específico. En la tabla se muestran los pronósticos y la demanda correspondiente que se presentaron. Con las técnicas de DAM y de señal de seguimiento evalúe la exactitud del modelo de pronóstico.

	Real	Pronosticada
Octubre	700	660
Noviembre	760	840
Diciembre	780	750
Enero	790	835
Febrero	850	910
Marzo	950	890

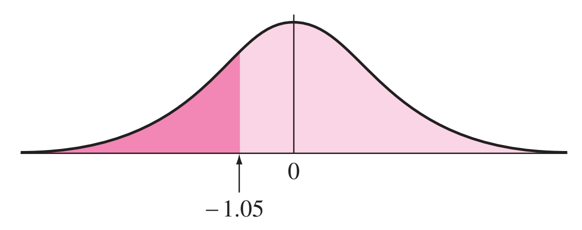
Solución

Se evalúa el modelo de pronóstico con DAM y con la señal de seguimiento.

	Demanda real	Demanda pronosticada	Desviación real	Desviación acumulada (SCEP)	Desviación absoluta
Octubre	700	660	40	40	40
Noviembre	760	840	–80	–40	80
Diciembre	780	750	30	–10	30
Enero	790	835	–45	–55	45
Febrero	850	910	–60	–115	60
Marzo	950	890	60	–55	60
					Desviación total = 315

$$\text{DAM} = \frac{315}{6} = 52.5$$

$$\text{Señal de seguimiento} = \frac{-55}{52.5} = -1.05$$



No hay suficiente evidencia para rechazar el modelo de pronóstico, así que se aceptan sus recomendaciones.

Preguntas de repaso y análisis

1. Examine la ilustración 15.3 y señale qué modelo usaría para *a*) la demanda de trajes de baño, *b*) la demanda de casas nuevas, *c*) consumo de electricidad y *d*) planes de expansión de nuevas plantas.
2. ¿En qué se fundamenta el método de mínimos cuadrados del análisis de regresión lineal?
3. Explique el procedimiento para crear un pronóstico mediante el método de descomposición de la regresión por mínimos cuadrados.
4. Mencione algunas reglas simples para manejar la demanda del producto de una empresa (un ejemplo es “limitarse al inventario disponible”).
5. ¿Qué estrategias aplican los supermercados, líneas aéreas, hospitales, bancos y fabricantes de cereal para influir en la demanda?
6. Todos los métodos de pronóstico que usan suavización exponencial, suavización adaptativa y suavización exponencial con tendencia requieren valores iniciales para que funcionen las ecuaciones. ¿Cómo escogería el valor inicial para, digamos, F_{t-1}?
7. De la elección entre un promedio móvil simple, promedio móvil ponderado, suavización exponencial y análisis de regresión lineal, ¿qué técnica de pronóstico le parecería más precisa? ¿Por qué?
8. Dé ejemplos que tengan una relación multiplicadora de la relación de tendencia estacional.
9. ¿Cuál es la principal desventaja del pronóstico diario mediante análisis de regresión?
10. ¿Cuáles son los principales problemas de la suavización exponencial adaptativa para realizar pronósticos?
11. ¿Cómo se calcula un índice estacional a partir del análisis de una recta de regresión?
12. Comente las diferencias básicas entre la desviación absoluta media y la desviación estándar.
13. ¿Qué implicaciones tienen los errores de pronóstico en la búsqueda de modelos de pronóstico estadístico muy complejos?
14. ¿Las relaciones causales son potencialmente más útiles para qué componente de una serie de tiempo?

Problemas

1. La demanda de audífonos para aparatos estereofónicos y reproductores de MP3 para trotadores permitió a Nina Industries crecer casi 50% el año pasado. El número de trotadores sigue en aumento, así que Nina espera que la demanda también se incremente, porque, hasta ahora, no se han promulgado leyes de seguridad que impidan que los trotadores usen audífonos. La demanda de audífonos del año pasado fue la siguiente:

Mes	Demanda (unidades)	Mes	Demanda (unidades)
Enero	4 200	Julio	5 300
Febrero	4 300	Agosto	4 900
Marzo	4 000	Septiembre	5 400
Abril	4 400	Octubre	5 700
Mayo	5 000	Noviembre	6 300
Junio	4 700	Diciembre	6 000

a) Con un análisis de regresión por mínimos cuadrados, ¿cuál estimaría que fuera la demanda de cada mes del año entrante? Con una hoja de cálculo, siga el formato general de la ilustración 15.5. Compare sus resultados con los obtenidos mediante la función de pronóstico de la hoja de cálculo.

b) Para tener alguna seguridad de cubrir la demanda, Nina decide usar tres errores estándar por seguridad. ¿Cuántas unidades adicionales debe retener para alcanzar este nivel de confianza?

2. La demanda histórica del producto es

	Demanda
Enero	12
Febrero	11
Marzo	15
Abril	12
Mayo	16
Junio	15

a) Con un promedio móvil ponderado y ponderaciones de 0.60, 0.30 y 0.10, calcule el pronóstico de julio.
b) Con un promedio móvil simple de tres meses, determine el pronóstico de julio.
c) Mediante suavización exponencial simple con $\alpha = 0.2$ y un pronóstico para junio de 13, calcule el pronóstico de julio. Haga todas las suposiciones que quiera.
d) Con un análisis de regresión lineal simple, calcule la ecuación de regresión de los datos precedentes de la demanda.
e) Con la ecuación de regresión del inciso *d*), calcule el pronóstico para julio.

3. Las siguientes tabulaciones son ventas unitarias reales de seis meses y un pronóstico inicial para enero.
a) Calcule los pronósticos para los cinco meses restantes con suavización exponencial simple con $\alpha = 0.2$.
b) Calcule la DAM de los pronósticos.

	Real	Pronosticada
Enero	100	80
Febrero	94	
Marzo	106	
Abril	80	
Mayo	68	
Junio	94	

4. Zeus Computer Chips, Inc., tenía contratos importantes para producir microprocesadores tipo Centrino. El mercado declinó los tres años anteriores debido a los módulos dual-core, que Zeus no produce, así que tiene la penosa tarea de pronosticar el año entrante. La labor es desagradable porque la empresa no ha logrado encontrar sustitutos para sus líneas de productos. Aquí está la demanda de los 12 trimestres pasados:

2007		2008		2009	
I	4 800	I	3 500	I	3 200
II	3 500	II	2 700	II	2 100
III	4 300	III	3 500	III	2 700
IV	3 000	IV	2 400	IV	1 700

Con la técnica de descomposición pronostique los cuatro trimestres de 2010.

5. Los datos de ventas de dos años son los siguientes. Los datos están acumulados con dos meses de ventas en cada “periodo”.

Meses	Ventas	Meses	Ventas
Enero-febrero	109	Enero-febrero	115
Marzo-abril	104	Marzo-abril	112
Mayo-junio	150	Mayo-junio	159
Julio-agosto	170	Julio-agosto	182
Septiembre-octubre	120	Septiembre-octubre	126
Noviembre-diciembre	100	Noviembre-diciembre	106

a) Grafique los datos.
b) Componga un modelo de regresión lineal simple para los datos de ventas.

c) Además del modelo de regresión, determine los factores multiplicadores del índice estacional. Se supone que un ciclo completo es de un año.
d) Con los resultados de los incisos *b*) y *c*) prepare un pronóstico para el año entrante.

6. Las señales de seguimiento calculadas con el historial de la demanda pasada de tres productos es la siguiente. Cada producto usa la misma técnica de pronóstico.

	SS1	SS2	SS3
1	–2.70	1.54	0.10
2	–2.32	–0.64	0.43
3	–1.70	2.05	1.08
4	–1.10	2.58	1.74
5	–0.87	–0.95	1.94
6	–0.05	–1.23	2.24
7	0.10	0.75	2.96
8	0.40	–1.59	3.02
9	1.50	0.47	3.54
10	2.20	2.74	3.75

Comente las señales de seguimiento de cada producto y señale sus implicaciones.

7. En la tabla siguiente se muestran los dos años previos de información de las ventas trimestrales. Suponga que hay tendencias y factores estacionales, y que el ciclo estacional es de un año. Con series de tiempo de descomposición pronostique las ventas trimestrales del año siguiente.

Trimestre	Ventas	Trimestre	Ventas
1	160	5	215
2	195	6	240
3	150	7	205
4	140	8	190

8. Tucson Machinery, Inc., fabrica máquinas controladas numéricamente que se venden a un precio promedio de 0.5 millones de dólares cada una. Las ventas de estas máquinas durante los dos años anteriores son:

Trimestre	Cantidad (unidades)	Trimestre	Cantidad (unidades)
2008		2009	
I	12	I	16
II	18	II	24
III	26	III	28
IV	16	IV	18

a) Trace a mano una recta (o haga una regresión con Excel).
b) Encuentre la tendencia y los factores estacionales.
c) Pronostique las ventas para 2010.

9. No todos los artículos de su tienda de artículos de papelería están distribuidos uniformemente en lo que concierne a la demanda, así que decide pronosticar la demanda para planificar su surtido. Los datos pasados de libretas de cuentas usuales, para agosto, son los siguientes:

Semana 1	300	Semana 3	600
Semana 2	400	Semana 4	700

a) Con un promedio móvil de tres semanas, ¿cuál sería su pronóstico para la semana entrante?
b) Con suavización exponencial y $\alpha = 0.20$, si el pronóstico exponencial de la semana 3 se calculó como el promedio de las dos primeras semanas [(300 + 400)/2 = 350], ¿cuál sería su pronóstico para la semana 5?

10. Con la siguiente historia, aplique un pronóstico enfocado al tercer trimestre de este año. Use tres estrategias de pronóstico enfocado.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Año pasado	100	125	135	175	185	200	150	140	130	200	225	250
Este año	125	135	135	190	200	190						

11. A continuación se da la demanda tabulada real de un artículo durante un periodo de nueve meses (enero a septiembre). Su supervisor quiere probar dos métodos de pronóstico para ver cuál resultó mejor en el periodo.

Mes	Real
Enero	110
Febrero	130
Marzo	150
Abril	170
Mayo	160
Junio	180
Julio	140
Agosto	130
Septiembre	140

a) Pronostique de abril a septiembre con un promedio móvil de tres meses.
b) Mediante suavización exponencial simple con un alfa de 0.3 calcule de abril a septiembre.
c) Con la DAM decida qué método produjo el mejor pronóstico en el periodo de seis meses.

12. Se aplicó cierto modelo de pronóstico para anticipar un periodo de seis meses. Aquí están la demanda pronosticada y la real:

	Real	Pronóstico
Abril	250	200
Mayo	325	250
Junio	400	325
Julio	350	300
Agosto	375	325
Septiembre	450	400

Encuentre la señal de seguimiento y señale si cree que el modelo usado da respuestas aceptables.

13. Harlen Industries tiene un modelo de pronóstico simple: se toma la demanda real del mismo mes del año anterior y se divide entre el número fraccional de semanas de ese mes. Esto da la demanda semanal promedio para el mes. Con este promedio semanal se pronostican las semanas del mismo mes de este año. La técnica se usó para pronosticar ocho semanas de este año, que se muestran a continuación junto con la demanda real. Las siguientes ocho semanas muestran el pronóstico (basado en el año pasado) y la demanda real:

Semana	Demanda pronosticada	Demanda real
1	140	137
2	140	133
3	140	150
4	140	160
5	140	180
6	150	170
7	150	185
8	150	205

a) Calcule la DAM de los errores de pronóstico.
b) Con la SCEP calcule la señal de seguimiento.
c) A partir de sus respuestas en *a*) y *b*), comente sobre el método de pronóstico de Harlen.

14. La tabla siguiente contiene la demanda de los últimos 10 meses.

Mes	Demanda real
1	31
2	34
3	33
4	35
5	37
6	36
7	38
8	40
9	40
10	41

a) Calcule el pronóstico con suavización exponencial simple de estos datos con una α de .30 y un pronóstico inicial (F_1) de 31.

b) Calcule el pronóstico de suavización exponencial con tendencia para estos datos, con una α de .30, δ de .30, un pronóstico de tendencias inicial (T_1) de 1 y un pronóstico suavizado exponencial inicial (F_1) de 30.

c) Calcule la desviación absoluta media (DAM) de cada pronóstico. ¿Cuál es el mejor?

15. En este problema va a poner a prueba la validez de su modelo de pronóstico. A continuación se dan los pronósticos del modelo que usó y la demanda real.

Semana	Pronóstico	Real
1	800	900
2	850	1 000
3	950	1 050
4	950	900
5	1 000	900
6	975	1 100

Con el método establecido en el texto calcule la DAM y la señal de seguimiento. Después decida si el modelo de pronóstico que usó proporciona resultados razonables.

16. Suponga que sus existencias de mercancía para venta se mantiene sobre la base de la demanda pronosticada. Si el personal de ventas de la distribuidora llama el primer día de cada mes, calcule su pronóstico de ventas con los tres métodos solicitados aquí.

	Real
Junio	140
Julio	180
Agosto	170

a) Con un promedio móvil simple de tres meses, ¿cuál es el pronóstico para septiembre?

b) Con un promedio móvil ponderado, ¿cuál es el pronóstico para septiembre con valores relativos de .20, .30 y .50 para junio, julio y agosto, respectivamente?

c) Mediante suavización exponencial simple, y suponiendo que el pronóstico de junio fue de 130, pronostique las ventas de septiembre con una constante α de suavización de .30.

17. La demanda histórica de un producto es como sigue:

	Demanda
Abril	60
Mayo	55
Junio	75
Julio	60
Agosto	80
Septiembre	75

a) Con un promedio móvil simple de cuatro meses, calcule un pronóstico para octubre.

b) Mediante suavización exponencial simple con $\alpha = 0.2$ y un pronóstico para septiembre = 65, calcule un pronóstico para octubre.

c) Mediante regresión lineal simple, calcule la recta de la tendencia de los datos históricos. En el eje de las X sea abril = 1, mayo = 2, y así sucesivamente, mientras que en el eje de las Y está la demanda.

d) Calcule un pronóstico para octubre.

18. Las ventas por trimestre del último año y los tres primeros trimestres de este año son como sigue:

	Trimestre			
	I	II	III	IV
Año pasado	23 000	27 000	18 000	9 000
Este año	19 000	24 000	15 400	

Con el procedimiento de pronóstico enfocado descrito en el texto pronostique las ventas esperadas para el cuarto trimestre de este año.

19. En la tabla siguiente se muestra la demanda predicha de un producto con su método particular de pronóstico, junto con la demanda real.

Pronóstico	Real
1 500	1 550
1 400	1 500
1 700	1 600
1 750	1 650
1 800	1 700

a) Calcule la señal de seguimiento con la desviación absoluta media y la suma continua de errores de pronóstico.
b) Comente si su método de pronóstico da buenas predicciones.

20. Su gerente trata de determinar qué método de pronóstico usar. A partir de los siguientes datos históricos, calcule el siguiente pronóstico y especifique qué procedimiento utilizaría.

Mes	Demanda real	Mes	Demanda real
1	62	7	76
2	65	8	78
3	67	9	78
4	68	10	80
5	71	11	84
6	73	12	85

a) Calcule el pronóstico de promedio móvil simple de tres meses para los periodos 4 a 12.
b) Calcule el promedio móvil ponderado a tres meses con ponderaciones de 0.50, 0.30 y 0.20 para los periodos 4 a 12.
c) Calcule el pronóstico de suavización exponencial simple para los periodos 2 a 12 con un pronóstico inicial (F_1) de 61 y una α de 0.30.
d) Calcule el pronóstico de suavización exponencial con componente de tendencia para los periodos 2 a 12 con un pronóstico de tendencia inicial (T_1) de 1.8, un pronóstico de suavización exponencial inicial (F_1) de 60, una α de 0.30 y una δ de 0.30.
e) Calcule la desviación absoluta media (DAM) de los pronósticos hechos con cada técnica en los periodos 4 a 12. ¿Qué método de pronóstico prefiere?

21. Haga un análisis de regresión sobre la demanda sin factores estacionales para pronosticar la demanda en el verano de 2010, dados los siguientes datos históricos de la demanda.

Año	Estación	Demanda real
2008	Primavera	205
	Verano	140
	Otoño	375
	Invierno	575
2009	Primavera	475
	Verano	275
	Otoño	685
	Invierno	965

22. Los siguientes son los resultados de los últimos 21 meses de ventas reales de cierto producto:

	2008	2009
Enero	300	275
Febrero	400	375
Marzo	425	350
Abril	450	425
Mayo	400	400
Junio	460	350

(*continúa*)

(*continuación*)

	2008	2009
Julio	400	350
Agosto	300	275
Septiembre	375	350
Octubre	500	
Noviembre	550	
Diciembre	500	

Elabore un pronóstico para el cuarto trimestre con tres reglas de pronóstico enfocado (observe que para aplicar correctamente el procedimiento, las reglas se prueban primero en el tercer trimestre; el cuarto trimestre se pronostica con la de mejor desempeño). Resuelva el problema con trimestres en lugar de pronosticar meses separados.

23. La demanda real de un producto en los tres meses anteriores fue

Hace tres meses	400 unidades
Hace dos meses	350 unidades
El mes pasado	325 unidades

a) Con un promedio móvil simple de tres meses haga un pronóstico para este mes.
b) Si este mes la demanda real fue de 300 unidades, ¿cuál sería su pronóstico para el mes entrante?
c) Con suavización exponencial simple, ¿cuál sería su pronóstico para este mes si el pronóstico suavizado exponencial de hace tres meses hubiese sido de 450 unidades y la constante de suavización de 0.20?

24. Después de aplicar su modelo de pronóstico durante seis meses, decide probarlo con DAM y una señal de seguimiento. Lo que sigue es el pronóstico y la demanda real del periodo de seis meses:

Periodo	Pronóstico	Real
Mayo	450	500
Junio	500	550
Julio	550	400
Agosto	600	500
Septiembre	650	675
Octubre	700	600

a) Encuentre la señal de seguimiento.
b) Decida si su rutina de pronóstico es aceptable.

25. A continuación se anotan las ganancias por acción de dos compañías, por trimestre, del primer trimestre de 2006 al segundo de 2009. Pronostique las ganancias por acción para el resto de 2009 y 2010. Con suavización exponencial pronostique el tercer periodo de 2009, y con el método de descomposición de series de tiempos, los últimos dos trimestres de 2009 y los cuatro trimestres de 2010. Es mucho más fácil resolver el problema en una hoja de cálculo computarizada para ver lo que sucede.

		Ganancias por acción	
	Trimestre	Compañía A	Compañía B
2006	I	$1.67	$0.17
	II	2.35	0.24
	III	1.11	0.26
	IV	1.15	0.34
2007	I	1.56	0.25
	II	2.04	0.37
	III	1.14	0.36
	IV	0.38	0.44

(*continúa*)

continuación)

	Trimestre	Ganancias por acción Compañía A	Compañía B
2008	I	0.29	0.33
	II	–0.18 (pérdida)	0.40
	III	–0.97 (pérdida)	0.41
	IV	0.20	0.47
2009	I	–1.54 (pérdida)	0.30
	II	0.38	0.47

a) Para el método de suavización exponencial, tome el primer trimestre de 2006 como pronóstico inicial. Haga dos pronósticos: uno con $\alpha = 0.10$ y otro con $\alpha = 0.30$.

b) Con el método de DAM para comprobar el desempeño del modelo de pronóstico, más los datos reales de 2006 al segundo trimestre de 2009, ¿qué tan bien funcionó el modelo?

c) Con la descomposición del método de pronóstico por series de tiempo, pronostique las ganancias por acción para los dos últimos trimestres de 2009 y los cuatro trimestres de 2010. ¿Hay algún factor estacional en las ganancias?

d) Con sus pronósticos comente sobre cada compañía.

26. A continuación se encuentran los ingresos por ventas de una empresa de servicios públicos grande de 1999 a 2009. Pronostique los ingresos de 2010 a 2013. Use su buen juicio, intuición o sentido común para elegir su modelo o método, y su periodo de datos.

	Ingresos (millones)		Ingresos (millones)
1999	$4 865.9	2005	$5 094.4
2000	5 067.4	2006	5 108.8
2001	5 515.6	2007	5 550.6
2002	5 728.8	2008	5 738.9
2003	5 497.7	2009	5 860.0
2004	5 197.7		

27. Mark Price, nuevo gerente de producción de Speakers and Company, tiene que averiguar qué variable afecta más la demanda de su línea de bocinas estereofónicas. No está seguro de que el precio unitario del producto o los efectos de mayor marketing sean los principales impulsores de las ventas, y quiere aplicar un análisis de regresión para averiguar qué factor impulsa más la demanda de su mercado. La información pertinente se recopiló en un extenso proyecto de marketing que se extendió a los 10 años anteriores y se vació en los datos siguientes:

Año	Ventas/unidad (millares)	Precio/unidad	Publicidad (miles de dólares)
1998	400	280	600
1999	700	215	835
2000	900	211	1 100
2001	1 300	210	1 400
2002	1 150	215	1 200
2003	1 200	200	1 300
2004	900	225	900
2005	1 100	207	1 100
2006	980	220	700
2007	1 234	211	900
2008	925	227	700
2009	800	245	690

a) Realice en Excel un análisis de regresión basado en estos datos. Con sus resultados, conteste las preguntas siguientes.

b) ¿Qué variable, precio o publicidad tiene un mayor efecto en las ventas, y cómo lo sabe?

c) Pronostique las ventas anuales promedio de bocinas de Speakers and Company a partir de los resultados de la regresión si el precio fue de 300 dólares por unidad y el monto gastado en publicidad (en miles) fue de 900 dólares.

28. Suponga una F_t inicial de 300 unidades, una tendencia de 8 unidades, un alfa de 0.30 y una delta de 0.40. Si la demanda real fue de 288, calcule el pronóstico para el siguiente periodo.

29. La tabla siguiente contiene el número de quejas recibidas en una tienda departamental durante los primeros seis meses de operación.

Mes	Quejas	Mes	Quejas
Enero	36	Abril	90
Febrero	45	Mayo	108
Marzo	81	Junio	144

Si se usara un promedio móvil de tres meses, ¿cuál habría sido el pronóstico de mayo?

30. El siguiente es el número de cajas de vino merlot vendidas en la vinatería Connor Owen en un periodo de ocho años.

Año	Cajas de vino merlot	Año	Cajas de vino merlot
2002	270	2006	358
2003	356	2007	500
2004	398	2008	410
2005	456	2009	376

Estime el valor de uniformidad calculado a fines de 2009 con un modelo de suavización exponencial y un valor alfa de 0.20. Use la demanda promedio de 2002 a 2004 como pronóstico inicial y a continuación suavice el pronóstico hasta 2009.

CASO: ALTAVOX ELECTRONICS

Altavox es fabricante y distribuidor de diversos instrumentos y aparatos electrónicos, como multímetros digitales analógicos, generadores de función, osciloscopios, contadores de frecuencia y otras máquinas para pruebas y mediciones. Altavox vende una línea de medidores de prueba populares entre los electricistas profesionales. El modelo VC202 se vende por conducto de seis distribuidoras a tiendas minoristas de Estados Unidos. Las distribuidoras están en Atlanta, Boston, Chicago, Dallas y Los Ángeles, y se escogieron para atender regiones diversas del país.

El modelo VC202 se ha vendido bien durante años por su confiabilidad y sólida construcción. Altavox no lo considera un producto estacional, pero hay alguna variabilidad en la demanda. En la tabla siguiente se muestra la demanda del producto en las últimas 13 semanas.

Estos datos se encuentran en una hoja de cálculo de Excel, *Altavox Data*. La demanda de las regiones varía entre un máximo de 40 unidades en promedio semanal en Atlanta y 48 unidades en Dallas. Los datos de este trimestre están muy cerca de la demanda del trimestre pasado.

La gerencia quisiera que usted experimentara con algunos modelos de pronóstico para determinar cuál debe usarse en un nuevo sistema que va a establecerse. El nuevo sistema está programado para usar uno de dos modelos: promedio móvil simple o suavización exponencial.

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Promedio
Atlanta	33	45	37	38	55	30	18	58	47	37	23	55	40	40
Boston	26	35	41	40	46	48	55	18	62	44	30	45	50	42
Chicago	44	34	22	55	48	72	62	28	27	95	35	45	47	47
Dallas	27	42	35	40	51	64	70	65	55	43	38	47	42	48
Los Ángeles	32	43	54	40	46	74	40	35	45	38	48	56	50	46
Total	162	199	189	213	246	288	245	204	236	257	174	248	229	222

Excel: Altavox Data

Preguntas

1. Piense en usar un modelo de promedio móvil simple. Experimente con modelos que aplican datos de cinco y tres semanas anteriores. A continuación se dan datos previos de cada región (la semana –1 es la previa a la semana 1 de la tabla, la –2 es dos semanas antes de la semana 1, etc.). Evalúe los pronósticos que se habrían hecho en las 13 últimas semanas tomando como criterios la desviación absoluta media y la señal de seguimiento.

Semana	–5	–4	–3	–2	–1
Atlanta	45	38	30	58	37
Boston	62	18	48	40	35
Chicago	62	22	72	44	48
Dallas	42	35	40	64	43
Los Ángeles	43	40	54	46	35
Total	254	153	244	252	198

2. A continuación piense en usar un modelo de suavización exponencial simple. En su análisis, pruebe dos valores alfa, .2 y .4. Use los mismos criterios que en la pregunta 1 para evaluar el modelo. Suponga que el pronóstico inicial anterior para el modelo con un valor alfa de .2 es el promedio de las últimas tres semanas. Para el modelo que usa un alfa de .4, suponga que el pronóstico anterior es el promedio de las cinco semanas anteriores.
3. Altavox estudia una nueva opción para distribuir el modelo VC202 en la que, en lugar de cinco proveedores, haya solo uno. Evalúe esta opción analizando la exactitud de un pronóstico basado en la demanda agregada en todas las regiones. Use el modelo que crea mejor a partir de sus análisis de las preguntas 1 y 2. ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de la demanda agregada desde el punto de vista del pronóstico? ¿Hay otras cosas que deben considerarse cuando se pasa de varios distribuidores a uno solo?

Cuestionario

1. Tipo de pronóstico con que se toman decisiones de largo plazo, por ejemplo, dónde ubicar un almacén o cuántos empleados tener en una planta el año siguiente.
2. El tipo de demanda más apropiado para usar modelos de pronósticos.
3. Término para influir realmente en la venta de un producto o servicio.
4. Los seis principales componentes de la demanda.
5. El tipo de análisis más apropiado cuando el pasado es un buen vaticinador del futuro.
6. Identificar y separar datos de series de tiempo en componentes de demanda.
7. Si la demanda en la semana actual fue de 102 unidades y se había pronosticado que sería de 125, ¿cuál sería el pronóstico de la semana siguiente con un modelo de suavización exponencial con un alfa de 0.3?
8. Suponga que usa suavización exponencial con ajuste de tendencia. La demanda crece a un ritmo muy uniforme de unas cinco unidades por semana. ¿Esperaría que sus parámetros alfa y delta estuvieran más cerca de uno o de cero?
9. Su pronóstico es en promedio incorrecto alrededor de 10%. El promedio de demanda es 130 unidades. ¿Cuál es la DAM?
10. Si la señal de seguimiento para su pronóstico fuera constantemente positiva, podría entonces decir esto acerca de su técnica de pronóstico.
11. ¿Qué sugeriría usted para mejorar el pronóstico descrito en la pregunta 10?
12. Usted sabe que las ventas reciben una gran influencia de la cantidad de publicidad que su compañía contrate en el periódico local. ¿Qué técnica de pronóstico sugeriría intentar?
13. ¿Qué herramienta de pronóstico es más apropiada cuando se trabaja de cerca con clientes que dependen de los productos de usted?

1. Pronóstico estratégico 2. Demanda independiente 3. Administración de demanda 4. Promedio de demanda para el periodo, tendencia, elementos estacionales, elementos cíclicos, variación aleatoria y autocorrelación. 5. Análisis de series de tiempo 6. Descomposición 7. 118 unidades 8. Cero 9. 13 10. Sesgada, constantemente demasiado baja 11. Sumar un componente de tendencia 12. Pronóstico de relación causal (con regresión) 13. Planificación, pronóstico y resurtido en colaboración (CPFR)

Bibliografía seleccionada

Diebold, F. X., *Elements of Forecasting,* 4a. ed., Mason, Ohio, South-Western College Publishing, 2006.

Hanke, J. E., A. G. Reitsch y D. W. Wichem, *Business Forecasting,* 8a. ed., Upper Saddle River, Nueva Jersey, Prentice Hall, 2004.

Makridakis, S., S. C. Wheelwright y R. J. Hyndman, *Forecasting: Methods for Management,* Nueva York, John Wiley & Sons, 1998.

Capítulo 16

PLANIFICACIÓN DE VENTAS Y OPERACIONES

Esto es lo que se dice en una junta de ejecutivos de Acme Widget Company, en la que los participantes no están muy contentos.

Presidente: Esta situación de escasez es terrible. ¿Cuándo vamos a poder aprovechar las oportunidades? Siempre que el negocio va bien, nos quedamos sin productos y nuestro servicio al cliente es deficiente.

Vicepresidente de operaciones: Te diré cuándo. Cuando empecemos a obtener pronósticos acertados por parte del departamento de ventas...

Después de leer este capítulo, usted:

1. Entenderá qué es la planificación de ventas y operaciones, y cómo coordinar planes de manufactura, logística, servicio y marketing.
2. Construirá planes agregados que empleen diferentes estrategias para satisfacer la demanda.
3. Describirá qué es el manejo de producción y por qué es una estrategia importante para nivelar la demanda.

Vicepresidente de ventas (interrumpe): Oigan, esperen. Nosotros sí pronosticamos esta alza.

Vicepresidente de operaciones: ...a tiempo para hacer algo al respecto. Y sí, nos llegó el pronóstico revisado... cuatro días antes de empezar el mes, cuando ya fue demasiado tarde.

Fuente: Adaptado de Thomas F. Wallace, *Sales and Operations Planning: The How-To Handbook,* Cincinnati, Ohio, T.F. Wallace & Co., 2000, p. 3.

Vicepresidente de ventas:	Pude habértelo dicho hace meses. Solo tenías que preguntar.
Vicepresidente de finanzas:	Me hubiese gustado estar en esas pláticas. Más de una vez nos hemos equivocado acumulando inventarios para una bonanza en el negocio que nunca llega. Luego, nos quedamos con toneladas de inventario y sin dinero.

Y la conversación continúa. Pedidos atrasados, clientes insatisfechos, inventarios altos, envíos demorados, búsqueda de culpables, problemas con el flujo de efectivo, falta de equilibrio entre oferta y demanda, planes de negocios sin cumplir. Esta es la norma en muchas empresas.

Sin embargo, no tiene que ser así. En la actualidad, muchas empresas utilizan un proceso de negocios conocido como planificación de ventas y operaciones, que les ayuda a evitar estos problemas. Si quiere saber de qué se trata y cómo aplicarlo, siga leyendo.

Plan agregado de operaciones

En este capítulo el enfoque está en el **plan agregado de operaciones**, que convierte los planes de negocios anuales y trimestrales en extensos planes sobre la fuerza de trabajo y la producción para un plazo intermedio (de 3 a 18 meses). El objetivo del plan agregado de operaciones es reducir al mínimo el costo de los recursos necesarios para cubrir la demanda durante ese periodo.

¿Qué es la planificación de ventas y operaciones?

La planificación de ventas y operaciones es un proceso que ayuda a ofrecer un mejor servicio al cliente, manejar un inventario más bajo, ofrecer al cliente tiempos de entrega más breves, estabilizar los índices de producción y facilitar a la gerencia el manejo del negocio. El proceso está diseñado para coordinar actividades en el campo con las funciones de manufactura y servicio que se requieren para satisfacer la demanda en el tiempo. Según la situación, las actividades en el campo pueden incluir el suministro de centros de distribución de almacenes, venta al menudeo de saldos o canales de venta directa. El proceso está diseñado para ayudar a una empresa a equilibrar la oferta y la demanda, y mantenerlos así en el tiempo. El proceso requiere trabajo en equipo entre ventas, distribución y logística, operaciones, finanzas y desarrollo de productos.

El proceso de planificación de ventas y operaciones consiste en una serie de juntas, que culminan en una junta de alto nivel donde se toman las decisiones clave de mediano plazo. La meta final es un acuerdo entre los distintos departamentos sobre el mejor curso de acción para lograr un equilibrio óptimo entre la oferta y la demanda. La idea es alinear el plan de operaciones con el plan de negocios.

Este equilibrio debe ocurrir tanto en un nivel agregado como en el nivel de cada producto. El término *agregado* se refiere al nivel de los principales grupos de productos. Con el tiempo, es necesario garantizar que se tiene una capacidad total suficiente. Como a menudo la demanda es muy dinámica, es importante vigilar las necesidades esperadas de 3 a 18 meses, o posteriormente. Al planificar con tanta anticipación es difícil saber con precisión la cantidad de un producto en particular que se va a necesitar, pero es necesario saber cómo se venderá un grupo más numeroso de productos similares. El término *agregado* se refiere a este grupo de productos. Si se cuenta con la capacidad suficiente, los programadores de productos individuales, al trabajar dentro de las limitaciones de la capacidad conjunta, pueden manejar el lanzamiento diario y semanal de pedidos de productos individuales para cubrir la demanda de corto plazo.

Generalidades de las actividades de planificación de ventas y operaciones

Planificación de ventas y operaciones

La ilustración 16.1 ubica la planificación de ventas y operaciones en relación con otras actividades de planificación importantes presentadas en el libro. El término **planificación de ventas y operaciones** se creó en las empresas para hacer referencia al proceso que ayuda a mantener un equilibrio entre oferta y demanda. En la gerencia de operaciones y suministro, este proceso se conoce como *planificación agregada*. La nueva terminología tiene como objetivo captar la

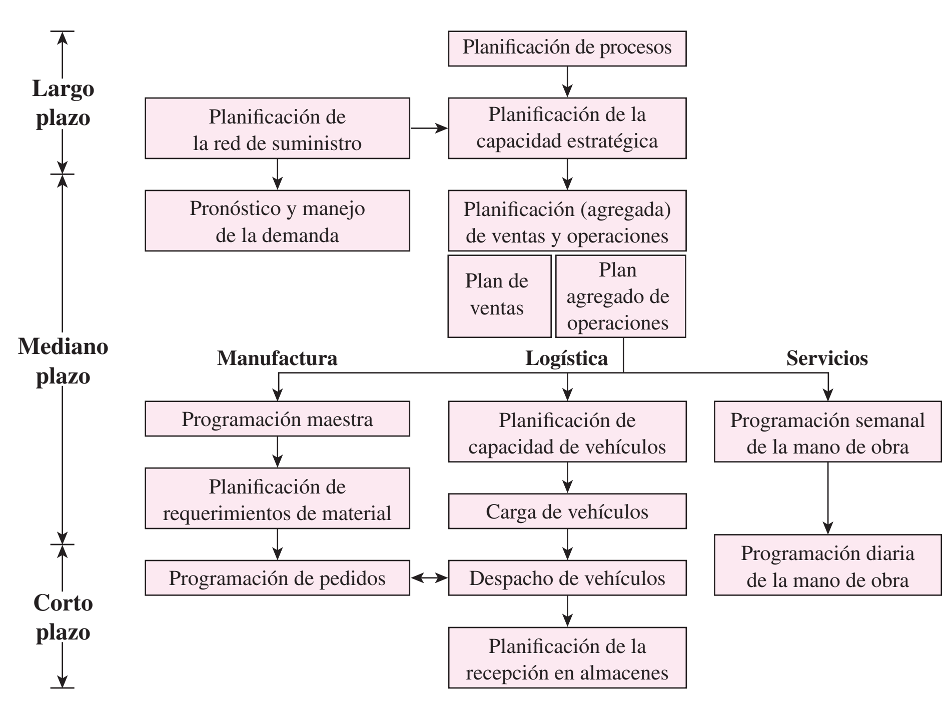


ILUSTRACIÓN 16.1 Esquema de las principales actividades de planificación de operaciones y suministro.

importancia del trabajo multifuncional. Por lo general, esta actividad comprende la gerencia general, ventas, operaciones, finanzas y desarrollo de productos.

En la planificación de ventas y operaciones, marketing elabora un plan de ventas que comprende los siguientes 3 a 18 meses. Este plan de ventas casi siempre se expresa en unidades de grupos de productos agregados y a menudo está asociado a los programas de incentivos de ventas y otras actividades de marketing. El área de operaciones elabora un plan de operaciones como resultado del proceso, mismo que se estudiará a fondo en este capítulo. Al concentrarse en los volúmenes agregados de ventas y productos, las funciones de marketing y operaciones pueden diseñar planes para cubrir la demanda. Esta es una tarea muy complicada cuando existen cambios en la demanda a través del tiempo debidos a las tendencias del mercado u otros factores.

En cuanto a la oferta, las operaciones agregadas se llevan a cabo por familias de productos y, en relación con la demanda, por grupos de clientes. Los programas de fabricación de cada producto y los pedidos de los clientes correspondientes se manejan con mayor facilidad como resultado del proceso de planificación de ventas y operaciones. Por lo regular, la planificación de ventas y operaciones ocurre por ciclos mensuales. Esta planificación une los planes estratégicos y el plan de negocios de una empresa con sus procesos de operaciones y suministro detallados. Estos procesos detallados incluyen manufactura, logística y actividades de servicios, como se muestra en la ilustración 16.1.

En la ilustración 16.1, la dimensión del tiempo aparece como plazos largo, mediano y corto. Por lo general, la **planificación de largo plazo** se lleva a cabo anualmente y se centra en un horizonte de más de un año. La **planificación de mediano plazo** casi siempre cubre un periodo de 3 a 18 meses, con incrementos de tiempo semanales, mensuales y en ocasiones trimestrales. La **planificación de corto plazo** cubre un periodo que va desde un día hasta seis meses, con incrementos diarios o semanales.

Planificación de largo plazo
Planificación de mediano plazo
Planificación de corto plazo

Las actividades de planificación de largo plazo se realizan en dos áreas principales. La primera es el diseño de los procesos de manufactura y servicios que producen los artículos de la empresa, y la segunda es el diseño de las actividades de logística que entregan los productos al cliente. La planificación de procesos se ocupa en determinar las tecnologías y procedimientos específicos requeridos para fabricar un producto o servicio. La planificación de la capacidad estratégica se encarga de determinar las capacidades de largo plazo (como tamaño y alcance) de los sistemas de producción. De manera similar, desde el punto de vista de la logística, la planificación de la red de suministro determina cómo se va a distribuir el producto entre los clientes en forma externa, con decisiones relacionadas con la ubicación de los almacenes y el tipo de

Cadena de suministro

sistema de transporte. En lo interno, la planificación de la red de suministro comprende decisiones relacionadas con la subcontratación de producción, selección de proveedores de partes y componentes, y cuestiones similares.

Las actividades de mediano plazo incluyen el pronóstico y manejo de la demanda, así como la planificación de ventas y operaciones. La determinación de la demanda esperada es el centro de atención del pronóstico y manejo de la demanda. A partir de estos datos se llevan a cabo los planes de ventas y operaciones detallados para cubrir estos requerimientos. Los planes de ventas proporcionan información a las actividades de manufactura, logística y planificación de servicios de la empresa. Los planes de ventas ofrecen información para las actividades de la fuerza de ventas, tema en el que se centran los libros de marketing. El plan de operaciones da información a las actividades de manufactura, logística y planificación de servicios. La programación maestra y la planificación de requerimientos de material están diseñadas para generar programas detallados que indican el momento en que se necesitan las piezas para las actividades de manufactura. Los planes de logística necesarios para mover las piezas y los productos terminados por toda la cadena de suministro se coordinan con los planes anteriores.

Servicio

Los detalles de corto plazo se centran sobre todo en la programación de la producción y las órdenes de embarque. Es necesario coordinar estas órdenes con los vehículos reales que transportan el material en toda la cadena de suministro. En el área de servicios, la programación de corto plazo de los empleados es necesaria para garantizar un servicio adecuado al cliente y mantener horarios justos para el trabajador.

Plan agregado de operaciones

Índice de producción
Nivel de mano de obra
Inventario a la mano

El plan agregado de operaciones se ocupa en establecer los índices de producción por grupo de productos u otras categorías para el mediano plazo (3 a 18 meses). Observe una vez más en la ilustración 16.1 que el plan agregado precede al programa maestro. *El propósito principal del plan agregado es especificar la combinación óptima de índice de producción, nivel de mano de obra e inventario a la mano*. El **índice de producción** se refiere al número de unidades terminadas por unidad de tiempo (hora o día). El **nivel de mano de obra** es el número de trabajadores necesario para la producción (producción = índice de producción × nivel de mano de obra). El **inventario a la mano** es el inventario no utilizado que quedó del periodo anterior.

Este es el planteamiento formal del problema de la planificación agregada: con el pronóstico de la demanda F_t para cada periodo t en el horizonte de planificación que abarca T periodos, determinar el nivel de producción P_t, el nivel de inventario I_t y el nivel de mano de obra W_t para los periodos $t = 1, 2, \ldots, T$ que reduzcan al mínimo los costos relevantes en el horizonte de planificación.

La forma del plan agregado varía en cada empresa. En algunas, se trata de un reporte formal que contiene los objetivos de planificación y las premisas de planificación en los que se basa. En otras, sobre todo las más pequeñas, el propietario puede realizar cálculos sencillos de las necesidades de mano de obra que reflejen una estrategia de contratación general.

También varía el proceso del que se deriva el plan en sí. Un enfoque común es derivarlo del plan corporativo anual, como muestra la ilustración 16.1. Un plan corporativo común incluye una sección sobre manufactura que especifica cuántas unidades en cada línea de productos es necesario producir durante los próximos 12 meses para cumplir con el pronóstico de ventas. El responsable del plan toma esta información y determina cómo cubrir mejor estos requerimientos en unidades equivalentes, y utiliza esto como base para el plan agregado. Por ejemplo, quizás una división de General Motors tenga que producir un número determinado de autos de todo tipo en una planta en particular. El responsable del plan de producción tomaría el promedio de horas de trabajo requeridas para todos los modelos como base para el plan agregado en general. Las mejoras a este plan, en particular para los tipos de modelos por producir, se reflejarían en los planes de producción de plazo más corto.

Otro enfoque consiste en desarrollar el plan agregado para simular diversos programas maestros de producción y calcular los requerimientos de capacidad correspondientes con el fin de saber si existen la mano de obra y el equipo adecuados en cada centro de trabajo. Si la capa-

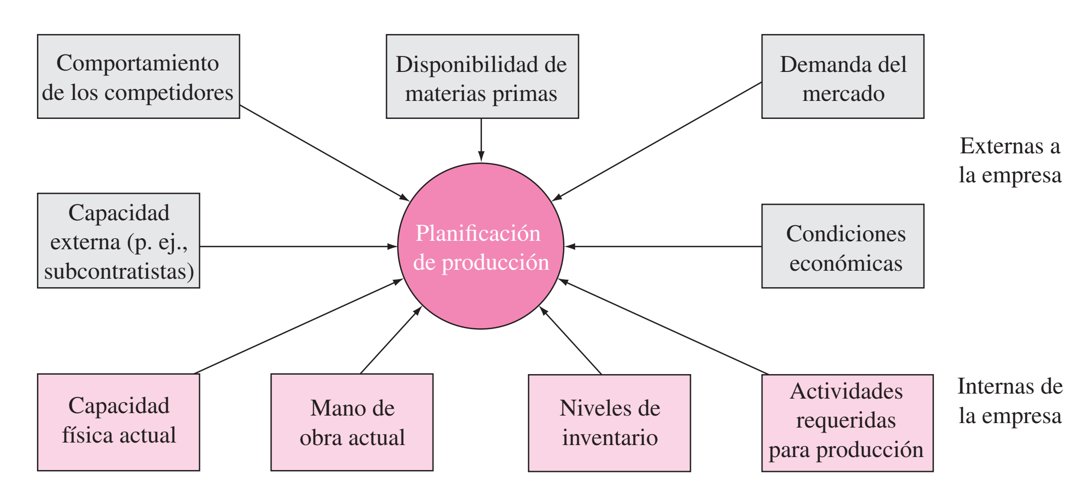


ILUSTRACIÓN 16.2 Requerimientos del sistema de planificación de producción.

cidad es inadecuada, se especifican los requerimientos adicionales de tiempo extra, subcontratación, trabajadores adicionales y demás, por cada línea de producto y se combinan en un plan provisional. Después, este plan se modifica con métodos de pruebas o matemáticos para derivar un plan final de menor costo (eso se espera).

ENTORNO DE PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

La ilustración 16.2 muestra los factores internos y externos que constituyen el entorno de planificación de la producción. En general, el medio externo se encuentra fuera del control directo del responsable del plan, pero en algunas empresas es posible manejar la demanda del producto. Mediante una cooperación estrecha entre marketing y operaciones, con las actividades promocionales y la reducción de precios se crea demanda durante periodos de recesión. Por el contrario, cuando la demanda es alta, es posible reducir las actividades promocionales y elevar los precios para maximizar los ingresos obtenidos de los productos o servicios que la empresa tiene la capacidad de proporcionar. Más adelante, en la sección "Manejo del rendimiento", se estudian las prácticas actuales del manejo de la demanda.

Servicio

Los productos complementarios pueden funcionar en el caso de las empresas que enfrentan fluctuaciones cíclicas de demanda. Por ejemplo, los fabricantes de podadoras enfrentarán una demanda muy fuerte durante primavera y verano, pero será débil en otoño e invierno. Las demandas en el sistema de producción se uniforman al fabricar un producto complementario con una demanda alta durante otoño e invierno y una demanda baja en primavera y verano (por ejemplo, carros para limpiar nieve, aspiradoras de nieve o aspiradoras de hojas). Con los servicios, a menudo los ciclos se miden en horas, más que en meses. Los restaurantes con demanda fuerte durante la comida y la cena, suelen agregar un menú de desayuno para aumentar la demanda en la mañana.

Los esquíes para agua y nieve son excelentes ejemplos de productos complementarios.

Aun así, hay límites en la cantidad de demanda que es posible controlar. En última instancia, el responsable de planificar la producción debe tener en cuenta las proyecciones de ventas y los pedidos que promete la función de marketing, y dejar los factores internos como variables manipulables al elaborar un plan de producción. Un nuevo enfoque para facilitar el manejo de estos factores internos se conoce como *respuesta precisa*, y comprende la medición detallada de los patrones históricos de la demanda combinada con el juicio de los expertos para determinar el momento en que debe iniciar la producción de artículos particulares. El elemento clave del enfoque es identificar con claridad aquellos productos cuya demanda es relativamente predecible de aquellos para los que resulta relativamente impredecible.[1]

Los factores internos mismos difieren en cuanto a la capacidad para controlarlos. Por lo general, la capacidad física actual (planta y equipo) es casi fija en el corto plazo; a menudo, los acuerdos con los sindicatos limitan los cambios de mano de obra; no siempre es posible incrementar la capacidad física, y es probable que la alta gerencia limite la cantidad de dinero relacionada con los inventarios. Aun así, siempre hay cierta flexibilidad al manejar estos factores, y los responsables de planificar la producción pueden aplicar una de las **estrategias de planificación de la producción** que aquí se estudia, o una combinación de ellas.

Estrategias de planificación de la producción

Estrategias de planificación de la producción En esencia, hay tres estrategias de planificación de producción, que comprenden cambios en el tamaño de la mano de obra, horas de trabajo, inventario y acumulación de pedidos.

1. **Estrategia de ajuste.** Igualar el índice de producción con el índice de pedidos contratado y despedir empleados conforme varía el índice de pedidos. El éxito de esta estrategia depende de tener un grupo de candidatos a los que se les pueda capacitar con rapidez y de dónde tomar empleados cuando aumente el volumen de pedidos. Como es obvio, hay impactos emocionales. Cuando la acumulación de pedidos es baja, es probable que los empleados quieran reducir el ritmo de trabajo por el temor a ser despedidos tan pronto como se cubran.
2. **Mano de obra estable, horas de trabajo variables.** Variar la producción ajustando el número de horas trabajadas por medio de horarios laborales flexibles u horas extra. Al variar el número de horas, es posible igualar las cantidades de la producción con los pedidos. Esta estrategia ofrece continuidad a la mano de obra y evita muchos de los costos emocionales y tangibles de la contratación y despidos relacionados con la estrategia de ajuste.
3. **Estrategia de nivel.** Mantener una mano de obra estable con un índice de producción constante. La escasez y el superávit se absorben mediante la fluctuación de los niveles de inventario, pedidos acumulados y ventas perdidas. Los empleados se benefician con un horario estable a expensas de niveles de servicio a clientes potencialmente más bajos y un mayor costo de inventario. Otra preocupación es la posibilidad de que los productos inventariados se vuelvan obsoletos.

Estrategia pura
Estrategia mixta

Cuando solo se utiliza una de estas variables para absorber las fluctuaciones de la demanda, se conoce como **estrategia pura**; dos o más estrategias combinadas constituyen una **estrategia mixta**. Como puede imaginar, las estrategias mixtas son más frecuentes en la industria.

Subcontratación Además de estas estrategias, los gerentes también pueden subcontratar parte de la producción. Esta estrategia es similar a la de ajuste, pero las contrataciones y despidos se cambian por la decisión de subcontratar o no. Cierto nivel de subcontratación es necesario para ajustarse a las fluctuaciones en la demanda. Sin embargo, a menos que la relación con el proveedor sea muy fuerte, un fabricante pierde cierto control sobre la programación y la calidad.

COSTOS RELEVANTES

Existen cuatro costos relevantes para el plan de producción agregada; se relacionan con el costo de producción mismo, así como con el de mantener un inventario y tener pedidos sin cubrir. De manera más específica, estos costos son:

[1] M. L. Fisher, J. H. Hammond, W. R. Obermeyer y A. Raman, "Making Supply Meet Demand in an Uncertain World", *Harvard Business Review* 72, núm. 3, mayo-junio de 1994, p. 84.

Todo está en planificar

Usted se encuentra en una junta de personal imprevista, organizada por el gerente general. Las voces se escuchan en un nervioso bajo murmullo. El rumor por lo alto es que habrá otra iniciativa mensual acerca de salir entre los sobrevivientes de la reestructura más reciente. La junta se inicia. Entre los apoyos visuales tricolores y hojas de cálculo tridimensionales, los gerentes reciben con escepticismo el mismo viejo mensaje mientras buscan respuestas políticamente correctas en un juego interminable de tirarle al mensajero.

Esta es una escena muy común en corporaciones de todo el mundo. Pero lo interesante es que empresas como Finisar Corporation aprendieron a manejar el proceso de igualar con éxito oferta y demanda. Finisar desarrolló un nuevo láser semiconductor para aplicaciones de computación, redes y sensores. El pronóstico y manejo de la capacidad de producción es un desafío único para las empresas que lanzan al mercado numerosos productos nuevos e innovadores. Mediante un proceso de planificación mensual de ventas y operaciones, Finisar logró aumentar la precisión de sus pronósticos de corto y largo plazos de 60% hasta 95% o más. Los pasos específicos en su plan concentran al equipo ejecutivo en 1) las oportunidades de demanda de los productos actuales y nuevos, y 2) las limitaciones de capacidad de la organización para fabricar productos que cubran esta demanda. El plan, desarrollado en una junta mensual de ejecutivos de planificación de ventas y operaciones, garantiza que la demanda se sincronizará con la oferta, de modo que los clientes tendrán el producto que quieran en el momento en que lo deseen, al tiempo que el inventario y los costos se mantendrán en el nivel mínimo posible.

Los gerentes de Finisar señalaron que un paso crucial era que el gerente general dirigiera el proceso. El segundo paso era lograr la comprensión total del comportamiento requerido por parte del equipo, como comprometerse con un plan de demanda y oferta equilibradas y sincronizadas, ser responsable del cumplimiento de los estándares de desempeño, tener una comunicación abierta y honesta, no prometer lo que no es posible cumplir, y tomar las decisiones necesarias para manejar las oportunidades y limitaciones identificadas.

Fuente: Adaptado de http://www.themanufacturer.com

1. **Costos de producción básicos.** Son los costos fijos y variables en los que se incurre al producir un tipo de producto determinado en un periodo definido. Entre ellos se incluyen los costos de mano de obra directos e indirectos, así como el salario normal y de tiempo extra.
2. **Costos asociados a cambios del índice de producción.** Los costos comunes en esta categoría son los que comprenden la contratación, capacitación y despido de personal. Contratar a empleados eventuales es una forma de evitar estos costos.
3. **Costos de mantenimiento de inventario.** Un componente importante es el costo de capital relacionado con el inventario. Otros componentes son almacenamiento, seguros, impuestos, desperdicio y obsolescencia.
4. **Costos por faltantes.** Por lo regular, son muy difíciles de medir e incluyen costos de expedición, pérdida de la buena voluntad de los clientes y pérdidas de ingresos por ventas.

Presupuestos Para obtener fondos, los gerentes de operaciones casi siempre tienen que presentar solicitudes de presupuestos anuales y, en ocasiones, trimestrales. El plan agregado es crucial para el éxito del proceso de presupuesto. Recuerde que el objetivo del plan agregado es reducir los costos totales relacionados con la producción para determinar la combinación óptima de niveles de mano de obra y niveles de inventario. Por tanto, el plan agregado ofrece una justificación para la cantidad de presupuesto solicitada. La planificación precisa de mediano plazo aumenta la probabilidad de 1) recibir el presupuesto solicitado y 2) operar dentro de los límites del presupuesto.

En la sección siguiente se dan algunos ejemplos de planificación de mediano plazo en escenarios de manufactura y servicios. Estos ejemplos ilustran los sacrificios relacionados con distintas estrategias de planificación de producción.[2]

Técnicas de planificación agregada

Por lo general, las empresas elaboran sus planes agregados con métodos de gráficas y tablas prácticas sencillas. Una estrategia práctica comprende el análisis de diversas opciones de planificación de producción, así como la elección de la mejor. Para facilitar el proceso de decisión se elaboran hojas de cálculo complejas. A menudo, en estas hojas de cálculo se incorporan enfoques complicados que comprenden programación lineal y simulación. A continuación se muestra un enfoque de hoja de cálculo para evaluar cuatro estrategias que permitirán a JC Company cubrir la demanda. Más adelante se analizan enfoques más avanzados que utilizan la programación lineal (vea el apéndice A).

EJEMPLO PRÁCTICO: JC COMPANY

Servicio

Una empresa con una variación estacional muy pronunciada casi siempre planifica la producción de todo un año para capturar los extremos en la demanda durante los meses más ocupados y más lentos. Pero es posible ilustrar los principios generales en un horizonte más corto. Suponga que se desea elaborar un plan de producción para JC Company que funcione durante los próximos seis meses, y se tiene la siguiente información:

Demanda y días hábiles

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Totales
Pronóstico de la demanda	1 800	1 500	1 100	900	1 100	1 600	8 000
Número de días hábiles	22	19	21	21	22	20	125

Costos

Materiales	$100.00/unidad
Costo de mantenimiento del inventario	$1.50/unidad/mes
Costo marginal del inventario agotado	$5.00/unidad/mes
Costo marginal de subcontratación	$20.00/unidad ($120 del costo de subcontratación menos $100 en ahorro de material)
Costo de contratación y capacitación	$200.00/trabajador
Costo de despido	$250.00/trabajador
Horas laborales requeridas	5/unidad
Costo del tiempo normal (primeras ocho horas al día)	$4.00/hora
Costo del tiempo extra (tiempo y medio)	$6.00/hora

Inventario

Inventario inicial	400 unidades
Inventario de seguridad	25% de la demanda mensual

Al resolver este problema se excluyen los costos del material. Se pudo incluir este costo de $100 en todos los cálculos, pero si se supone que un costo de $100 es común para cada unidad de la demanda, solo hay que preocuparse por los costos marginales. Como el costo de subcontratación es de $120, el verdadero costo de la subcontratación es solo de $20 porque se ahorra el material.

Observe que muchos costos se expresan en forma diferente de la que por lo regular se encuentra en los registros contables de una empresa. Por tanto, no espere obtener todos estos costos directamente de esos registros, sino de manera indirecta del personal de la gerencia, quien puede ayudarle a interpretar los datos.

[2] Para una aplicación interesante de la planificación agregada en organizaciones humanitarias no lucrativas vea C. Sheu y J. G. Wacker, "A Planning and Control Framework for Nonprofit Humanitarian Organizations", *International Journal of Operations and Production Management* 14, núm. 4, 1994, pp. 64-77.

ILUSTRACIÓN 16.3 Requisitos de la planificación agregada de la producción.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Inventario inicial	400	450	375	275	225	275
Pronóstico de la demanda	1 800	1 500	1 100	900	1 100	1 600
Inventario de seguridad (0.25 × pronóstico de la demanda)	450	375	275	225	275	400
Requerimiento de producción (pronóstico de la demanda + inventario de seguridad – inventario inicial)	1 850	1 425	1 000	850	1 150	1 725
Inventario final (inventario inicial + requerimiento de producción – pronóstico de la demanda)	450	375	275	225	275	400

Excel: Planificación agregada

A principios del primer periodo, el inventario es de 400 unidades. Como el pronóstico de la demanda es imperfecto, JC Company determinó que es necesario establecer un *inventario de seguridad* (inventario de amortización) para reducir la probabilidad de que se agoten las existencias. Para este ejemplo, suponga que el inventario de seguridad debe ser una cuarta parte de la demanda pronosticada (el capítulo 17 cubre este tema con todo detalle).

Antes de investigar otros planes de producción a menudo resulta útil convertir los pronósticos de la demanda en *requerimientos de producción*, que toman en cuenta los estimados del inventario de seguridad. En la ilustración 16.3 observe que estos requerimientos suponen en forma implícita que en realidad nunca se va a recurrir al inventario de seguridad, de modo que el inventario final de cada mes es igual al inventario de seguridad para ese mes. Por ejemplo, el inventario de seguridad de enero, que es de 450 (25% de 1 800, que fue la demanda de enero), se convierte en el inventario de seguridad a finales de ese mes. El requerimiento de producción para enero es la demanda más el inventario de seguridad menos el inventario inicial (1 800 + 450 – 400 = 1 850).

Ahora hay que formular otros planes de producción para JC Company. Con una hoja de cálculo se investigan cuatro planes con el fin de encontrar el que tenga el costo total más bajo.

Plan 1. Producir de acuerdo con los requerimientos de producción mensual exactos con un día regular de ocho horas y un tamaño variable de mano de obra.

Plan 2. Producir para cubrir la demanda promedio esperada durante los próximos seis meses con el fin de mantener una mano de obra constante. Este número de trabajadores constante se calcula al determinar el número promedio de trabajadores necesarios cada día. Se toma el total de los requerimientos de producción y se multiplica por el tiempo necesario para cada unidad. Luego se divide el resultado entre el tiempo total que una persona va a trabajar [(8 000 unidades × 5 horas por unidad) ÷ (125 días × 8 horas al día) = 40 trabajadores]. Se permite una acumulación en el inventario y la escasez se compensa mediante la producción del próximo mes. Los balances iniciales negativos en el inventario indican que la demanda se acumuló. En algunos casos es probable que se pierdan ventas si no se cubre la demanda. Las ventas perdidas pueden dar lugar a un balance de inventario final negativo seguido por un inventario inicial de cero para el periodo siguiente. Observe que en este plan solo se utiliza el inventario de seguridad en enero, febrero, marzo y junio para cubrir la demanda esperada.

Plan 3. Producir para cubrir la demanda mínima esperada (abril) con una fuerza de trabajo constante en tiempo normal. Con subcontratación se cubren los requerimientos de producción adicionales. El número de trabajadores se calcula al localizar los requerimientos de producción mínima mensual y determinar cuántos trabajadores serían necesarios para aquel mes [(850 unidades × 5 horas por unidad) ÷ (21 días × 8 horas por día) = 25 trabajadores], y subcontratar cualquier diferencia mensual entre requerimientos y producción.

Plan 4. Producir para cubrir la demanda esperada por todos, pero los primeros dos meses con una mano de obra constante en tiempo normal. Con el tiempo extra se cubren los requerimientos de producción adicionales. El número de trabajadores es más difícil de calcular en este plan, pero el objetivo es terminar junio con un inventario final lo más cercano posible al inventario de seguridad de junio. Mediante ensayo y error es posible demostrar que una mano de obra constante de 38 trabajadores es la aproximación más cercana.

ILUSTRACIÓN 16.4 Costos de cuatro planes de producción.

Plan de producción 1. Producción exacta, mano de obra variable	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Total
Requerimiento de producción (de la ilustración 16.3)	1 850	1 425	1 000	850	1 150	1 725	
Horas de producción requeridas (requerimiento de producción × 5 h/unidad)	9 250	7 125	5 000	4 250	5 750	8 625	
Días hábiles por mes	22	19	21	21	22	20	
Horas al mes por trabajador (días hábiles × 8 h/día)	176	152	168	168	176	160	
Trabajadores requeridos (horas de producción requeridas/ horas al mes por trabajador)	53	47	30	25	33	54	
Nuevos trabajadores contratados (si se supone que la mano de obra inicial es igual al requerimiento de 53 trabajadores de los primeros meses)	0	0	0	0	8	21	
Costo de contratación (nuevos trabajadores contratados × $200)	$0	$0	$0	$0	$1 600	$4 200	$5 800
Despido de trabajadores	0	6	17	5	0	0	$7 000
Costo de despido (trabajadores despedidos × $250)	$0	$1 500	$4 250	$1 250	$0	$0	$160 000
Costo del tiempo normal (horas de producción requeridas × $4)	$37 000	$28 500	$20 000	$17 000	$23 000	$34 500	$172 800
							Costo total $172 800

Plan de producción 2. Fuerza de trabajo constante, inventario e inventario agotado variables	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Total
Inventario inicial	400	8	–276	–32	412	720	
Días hábiles por mes	22	19	21	21	22	20	
Horas de producción disponibles (días hábiles por mes × 8 h/día × 40 trabajadores)*	7 040	6 080	6 720	6 720	7 040	6 400	
Producción real (horas de producción disponibles/5 h/unidad)	1 408	1 216	1 344	1 344	1 408	1 280	
Pronóstico de la demanda (de la ilustración 16.3)	1 800	1 500	1 100	900	1 100	1 600	
Inventario final (inventario inicial + producción real – pronóstico de la demanda)	8	–276	–32	412	720	400	
Costo de escasez (unidades faltantes × $5)	$0	$1 380	$160	$0	$0	$0	$1 540
Inventario de seguridad (de la ilustración 16.3)	450	375	275	225	275	400	
Unidades en exceso (inventario final – inventario de seguridad) solo si la cantidad es positiva	0	0	0	187	445	0	
Costo de inventarios (unidades en exceso × $1.50)	$0	$0	$0	$281	$668	$0	$948
Costo del tiempo normal (horas de producción disponibles × $4)	$28 160	$24 320	$26 880	$26 880	$28 160	$25 600	$160 000
							Costo total $162 488

* (Suma del requerimiento de producción en la ilustración 16.3 × 5 h/unidad)/(suma de las horas de producción disponibles × 8 h/día) = (8 000 × 5)/(125 × 8) = 40.

Excel: Planificación agregada

El próximo paso consiste en calcular el costo de cada plan. Para ello es necesaria una serie de cálculos simples que aparecen en la ilustración 16.4. Observe que los encabezados de cada fila son diferentes en cada plan, porque cada uno es un problema distinto que requiere datos y cálculos propios.

El último paso consiste en tabular y trazar en una gráfica cada plan y comparar sus costos. En la ilustración 16.5 se ve que la subcontratación permitió el costo más bajo (Plan 3). La ilustración 16.6 muestra los efectos de los cuatro planes. Esta es una gráfica acumulativa que ilustra los resultados esperados en el requerimiento de producción total.

Observe que en este ejemplo se hace otra suposición: el plan puede empezar con determinado número de trabajadores sin ningún costo de contratación ni despido. Esto casi siempre sucede porque un plan agregado se aplica con el personal existente y es posible iniciarlo así. Sin

Plan de producción 3. Mano de obra baja y constante, subcontratación							
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Total
Requerimiento de producción (de la ilustración 16.3)	1 850	1 425	1 000	850	1 150	1 725	
Días hábiles por mes	22	19	21	21	22	20	
Horas de producción disponibles (días hábiles × 8 h/día × 25 trabajadores)*	4 400	3 800	4 200	4 200	4 400	4 000	
Producción real (horas de producción disponibles/5 h por unidad)	880	760	840	840	880	800	
Unidades subcontratadas (requerimiento de producción – producción real)	970	665	160	10	270	925	
Costo de la subcontratación (unidades subcontratadas × $20)	$19 400	$13 300	$3 200	$200	$5 400	$18 500	$60 000
Costo del tiempo normal (horas de producción disponibles × $4)	$17 600	$15 200	$16 800	$16 800	$17 600	$16 000	$100 000
						Costo total	$160 000

* Requerimiento de producción mínimo. En este ejemplo, abril tiene el mínimo de 850 unidades. El número de trabajadores requeridos para abril es (850 × 5)/(21 × 8) = 25.

Plan de producción 4. Mano de obra constante, tiempo extra							
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Total
Inventario inicial	400	0	0	177	554	792	
Días hábiles por mes	22	19	21	21	22	20	
Horas de producción disponibles (días hábiles × 8 h/día × 38 trabajadores)*	6 688	5 776	6 384	6 384	6 688	6 080	
Producción de turno normal (horas de producción disponibles/5 h por unidad)	1 338	1 155	1 277	1 277	1 338	1 216	
Pronóstico de la demanda (de la ilustración 16.3)	1 800	1 500	1 100	900	1 100	1 600	
Unidades disponibles antes del tiempo extra (inventario inicial + producción de turno normal – pronóstico de la demanda). Esta cifra se redondeó al entero más próximo.	–62	–345	177	554	792	408	
Tiempo extra de las unidades	62	375	0	0	0	0	
Costo del tiempo extra (tiempo extra de las unidades × 5 h/unidad × $6/h)	$1 860	$10 350	$0	$0	$0	$0	$12 210
Inventario de seguridad (de la ilustración 16.3)	450	375	275	225	275	400	
Unidades en exceso (unidades disponibles antes del tiempo extra – inventario de seguridad) sólo si la cantidad es positiva	0	0	0	329	517	8	
Costo de inventarios (unidades en exceso × $1.50)	$0	$0	$0	$494	$776	$12	$1 281
Costo del tiempo regular (horas de producción disponibles × $4)	$26 752	$23 104	$25 536	$25 536	$26 752	$24 320	$152 000
						Costo total	$165 491

* Trabajadores determinados mediante ensayo y error. Consulte la explicación en el texto.

embargo, en una aplicación real, la disponibilidad del personal existente transferible a otras áreas de la empresa puede cambiar las suposiciones.

El Plan 1 es la curva “S” cuando nos interesa la demanda con mano de obra variable. El Plan 2 tiene el promedio de la tasa de producción más alto (la línea que representa la demanda acumulada tiene la pendiente más pronunciada). La subcontratación del Plan 3 provoca el índice de producción más bajo. Los límites en la cantidad de tiempo extra disponible dan por resultado que el Plan 4 se asemeje al Plan 2.

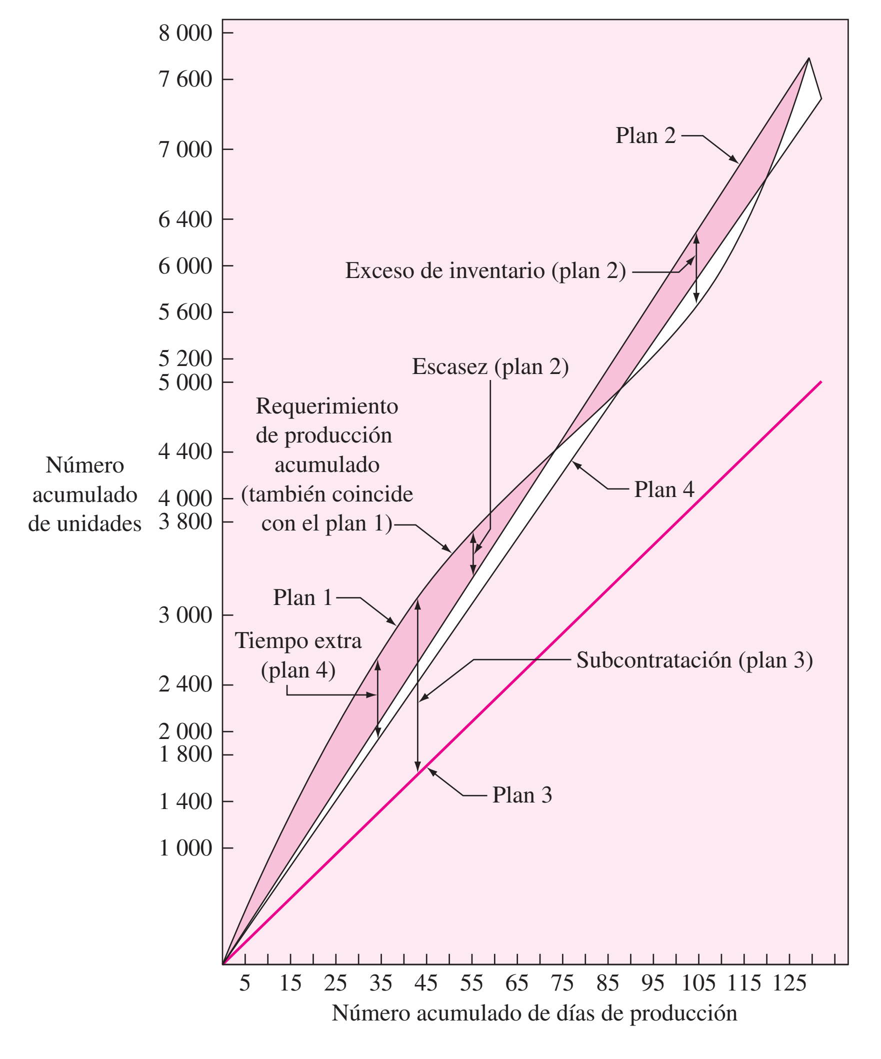
Cada uno de estos cuatro planes se enfoca en un costo en particular, y los primeros tres son estrategias puras simples. Como es obvio hay muchos otros planes factibles, algunos de los cuales combinan cambios en la mano de obra, tiempo extra y subcontratación. Los problemas al final de este capítulo incluyen ejemplos de estas estrategias mixtas. En la práctica, el plan final

ILUSTRACIÓN 16.5 Comparación de los cuatro planes.

Excel: Planificación agregada

Costos	Plan 1. Producción exacta, mano de obra variable	Plan 2. Mano de obra constante, inventario e inventario agotado variables	Plan 3. Mano de obra baja y constante, subcontratación	Plan 4. Mano de obra constante, tiempo extra
Contratación	$ 5 800	$ 0	$ 0	$ 0
Despidos	7 000	0	0	0
Exceso de inventario	0	948	0	1 281
Escasez	0	1 540	0	0
Subcontratación	0	0	60 000	0
Tiempo extra	0	0	0	12 210
Tiempo normal	160 000	160 000	100 000	152 000
	$172 800	$162 488	$160 000	$165 491

ILUSTRACIÓN 16.6 Cuatro planes para satisfacer un requerimiento de producción durante el número de días de producción disponibles.



elegido proviene de la búsqueda de diversas opciones y pronósticos más allá del horizonte de planificación de seis meses que se utiliza.

Tenga presente que el enfoque práctico no garantiza el descubrimiento de la solución de costo mínimo. Sin embargo, los programas de hojas de cálculo como Microsoft Excel, efectúan estimados de costos prácticos en segundos y elevaron este tipo de análisis causal a un nivel muy avanzado. Los programas más complejos generan mucho mejores soluciones sin que el usuario tenga que intervenir, como en el caso del método práctico.

Planificación agregada aplicada a los servicios: Departamento de Parques y Recreación de Tucson

Servicio

Las técnicas de elaboración de tablas y gráficas también son útiles para la planificación agregada en las aplicaciones de servicios. El ejemplo siguiente muestra de qué manera el departamento de parques y recreación de una ciudad puede utilizar las opciones de empleados de tiempo completo, de medio tiempo y subcontratación para cumplir con su compromiso de prestar un servicio a la ciudad.

El Departamento de Parques y Recreación de Tucson tiene un presupuesto de operaciones y mantenimiento de $9 760 000. El departamento es responsable de desarrollar y mantener las áreas verdes, todos los programas recreativos públicos, ligas deportivas para adultos, campos de golf, canchas de tenis, piscinas, etc. Hay 336 empleados, de los cuales 216 son trabajadores de tiempo completo permanentes que se encargan de la administración y mantenimiento de todas las áreas durante todo el año. Los 120 restantes son empleados de medio tiempo; alrededor de las tres cuartas partes de ellos se emplean durante el verano y otra cuarta parte en otoño, invierno y primavera. Tres cuartas partes (o 90 empleados) cubren 800 puestos de verano de medio tiempo: salvavidas, árbitros de béisbol e instructores en los programas de verano para niños. Ochocientos trabajos de medio tiempo se cubren con 90 empleados porque muchos solo duran uno o dos meses, mientras que los puestos de tiempo completo lo hacen todo el año.

En la actualidad, el único trabajo de parques y recreación subcontratado representa menos de $100 000. Y esta cantidad es para los profesores de golf y tenis, y para el mantenimiento de los terrenos de las bibliotecas y el cementerio de veteranos.

Por la naturaleza del empleo, la probable mala imagen pública y la normativa del servicio civil, no se tiene la opción de contratar y despedir empleados de tiempo completo todos los días o cada semana para cubrir la demanda estacional. Sin embargo, la ayuda temporal de medio tiempo está autorizada y es tradicional. Asimismo, es prácticamente imposible tener empleados regulares (de tiempo completo) para todos los puestos de verano. Durante los meses de verano, los casi 800 empleados de medio tiempo trabajan en muchos programas simultáneos, por lo que es imposible nivelar el horario a una semana normal de 40 horas. Se necesita una mayor variedad de habilidades (como *ampáyeres*, entrenadores, salvavidas y profesores de cerámica, guitarra, karate, danzas orientales y yoga) de las que tienen los empleados de tiempo completo.

El departamento tiene tres opciones para la planificación agregada:

1. El método actual, que consiste en manejar un personal de tiempo completo de nivel intermedio y programar trabajo para éste durante las temporadas bajas (como reconstruir los campos de béisbol durante los meses de invierno) y utilizar ayuda de medio tiempo en los periodos de mayor demanda.
2. Mantener un nivel de personal más bajo durante el año y subcontratar todo el trabajo adicional que realiza el personal de tiempo completo en forma permanente (con ayuda de medio tiempo).
3. Conservar solo al personal administrativo y subcontratar todo el trabajo, inclusive la ayuda de medio tiempo (esto representaría el manejo de contratos con empresas de jardinería y mantenimiento de albercas, así como con empresas privadas recién creadas para emplear y suministrar ayuda de medio tiempo).

La unidad de medición laboral común en todas las áreas son los empleos equivalentes de tiempo completo o los empleados. Por ejemplo, suponga que en la misma semana 30 salvavidas trabajan 20 horas cada uno, 40 instructores trabajan 15 horas cada uno y 35 *ampáyeres* de béisbol laboran 10 horas cada uno. Esto equivale a $(30 \times 20) + (40 \times 15) + (35 \times 10) = 1\,550 \div 40 = 38.75$ puestos de tiempo completo para esa semana. Aunque es posible pasar una cantidad considerable de carga de trabajo a la temporada baja, la mayor parte del trabajo se tiene que realizar en el momento en que se necesita.

Los empleados de tiempo completo se dividen en tres grupos: 1) el grupo de base del personal clave para el departamento que se coordina con la ciudad, establece políticas, determina presupuestos, mide el desempeño, etc., 2) el grupo administrativo de personal de supervisión y oficina, responsable de los trabajadores directos, y 3) el de la mano de obra directa compuesta

por 116 puestos de tiempo completo. Estos trabajadores mantienen físicamente las áreas de responsabilidad del departamento, como hacer la limpieza, podar los campos de golf y las canchas de juego, podar los árboles y regar el césped.

La información de costos necesaria para determinar la mejor estrategia alternativa es:

Empleados directos tiempo completo	
Tasa salarial promedio	$4.45 por hora
Prestaciones adicionales	17% de la tasa salarial
Costos administrativos	20% de la tasa salarial
Empleados medio tiempo	
Tasa salarial promedio	$4.03 por hora
Prestaciones adicionales	11% de la tasa salarial
Costos administrativos	25% de la tasa salarial
Subcontratar todos los puestos de tiempo completo	$1.6 millones
Subcontratar todos los puestos de medio tiempo	$1.85 millones

Junio y julio son los meses en que la demanda es más alta en Tucson. La ilustración 16.7 muestra los altos requerimientos de personal en estos meses. La ayuda de medio tiempo llega a 576 puestos (aunque, en números reales, son aproximadamente 800 empleados). Después de un nivel bajo de personal en otoño e invierno, la demanda mostrada como "directos de tiempo completo" llega a 130 en marzo (cuando los campos se vuelven a sembrar y a fertilizar) y luego se incrementa a 325 en julio. El método actual nivela esta demanda desigual durante el año a un promedio de 116 empleados de tiempo completo que trabajan todo el año con una programación anticipada del trabajo. Como ya se mencionó, no se hace intento alguno por contratar y despedir a los empleados de tiempo completo para cubrir esta demanda desigual.

La ilustración 16.8 muestra el cálculo de los costos de las tres opciones y compara los costos totales de cada una. A juzgar por este análisis, el departamento ya utiliza la opción de costo más bajo (opción 1).

ILUSTRACIÓN 16.7 Requisitos de demanda real de empleados directos de tiempo completo y empleados de medio tiempo equivalente a tiempo completo.

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
Días	22	20	21	22	21	20	21	21	21	23	18	22	252
Empleados de tiempo completo	66	28	130	90	195	290	325	92	45	32	29	60	
Días de tiempo completo*	1 452	560	2 730	1 980	4 095	5 800	6 825	1 932	945	736	522	1 320	28 897
Empleados de medio tiempo equivalente a tiempo completo	41	75	72	68	72	302	576	72	0	68	84	27	
Días de tiempo completo equivalente	902	1 500	1 512	1 496	1 512	6 040	12 096	1 512	0	1 564	1 512	594	30 240

* Los días de tiempo completo se obtienen al multiplicar el número de días de cada mes por el número de trabajadores.

Excel: Planificación agregada

Requerimiento mensual de empleados directos de tiempo completo (ajenos al personal clave) y empleados de medio tiempo equivalente a tiempo completo

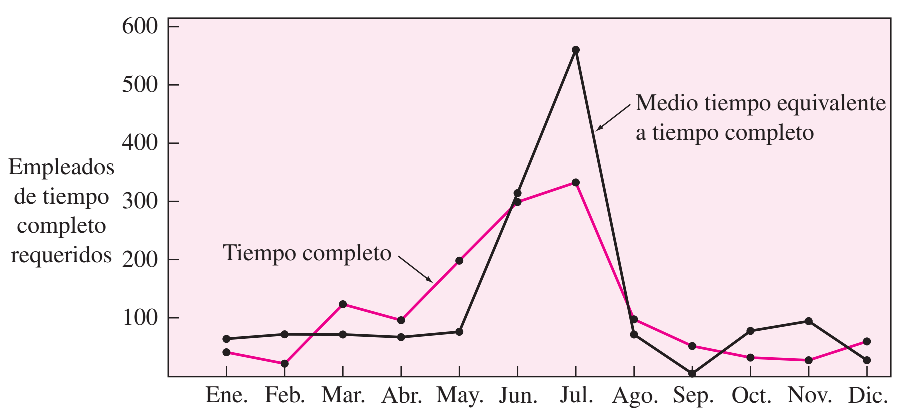


ILUSTRACIÓN 16.8 Tres posibles planes para el Departamento de Parques y Recreación.

Excel: Planificación agregada

Opción 1: Mantener 116 trabajadores regulares de tiempo completo. Programar el trabajo durante los periodos fuera de temporada para nivelar la carga de trabajo en todo el año. Conservar a 120 empleados de medio tiempo equivalente a tiempo completo para cubrir los periodos de demanda alta.

Costos	Días por año (ilustración 16.7)	Horas (empleados × días × 8 horas)	Salarios (tiempo completo, $4.45; medio tiempo, $4.03)	Prestaciones adicionales (tiempo completo, 17%; medio tiempo, 11%)	Costo administrativo (tiempo completo, 20%; medio tiempo, 25%)
116 empleados regulares de tiempo completo	252	233 856	$1 040 659	$176 912	$208 132
120 empleados de medio tiempo	252	241 920	974 938	107 243	243 735
Costo total = $2 751 619			$2 015 597	$284 155	$451 867

Opción 2: Mantener a 50 trabajadores directos de tiempo completo y los actuales 120 empleados de medio tiempo que equivale a tiempo completo. Subcontratar tareas y liberar a 66 empleados regulares de tiempo completo. Costo de subcontratación, $1 100 000.

Costos	Días por año (ilustración 16.7)	Horas (empleados × días × 8 horas)	Salarios (tiempo completo, $4.45; medio tiempo, $4.03)	Prestaciones adicionales (tiempo completo, 17%; medio tiempo, 11%)	Costo administrativo (tiempo completo, 20%; medio tiempo, 25%)	Costo de subcontratación
50 empleados de tiempo completo	252	100 800	$448 560	$76 255	$89 712	
120 empleados de medio tiempo equivalente a tiempo completo	252	241 920	974 938	107 243	243 735	
Costo de subcontratación						$1 100 000
Costo total = $3 040 443			$1 423 498	$183 498	$333 447	$1 100 000

Opción 3: Subcontratar todas las labores que antes desempeñaban los 116 empleados regulares de tiempo completo. Costo de subcontratación, $1 600 000. Subcontratar todos los trabajos que antes hacían los 120 empleados de medio tiempo. Costo de subcontratación, $1 850 000.

Costo	Costo de subcontratación
0 empleados de tiempo completo	
0 empleados de medio tiempo	
Subcontratación de trabajos de tiempo completo	$1 600 000
Subcontratación de trabajos de medio tiempo	1 850 000
Costo total	$3 450 000

Programación por niveles

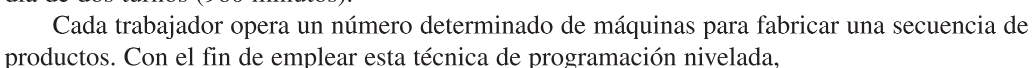
En este capítulo se analizan cuatro estrategias primarias para planificar la producción: variar el tamaño de la mano de obra para cubrir la demanda, trabajar horas extra y medio tiempo, variar el inventario según excedentes y escasez, y subcontratar.

Una programación nivelada mantiene constante la producción durante un periodo. Es una combinación de las estrategias que aquí se mencionan. En cada periodo mantiene constante la mano de obra y bajo el inventario, y depende de la demanda para mover los productos. La producción nivelada tiene muchas ventajas, por lo que se convierte en la columna vertebral de la producción justo a tiempo:

1. Es posible planificar todo el sistema para reducir el inventario y el trabajo en proceso.
2. Las modificaciones a los productos están actualizadas gracias a la poca cantidad de trabajo en proceso.
3. Hay un flujo uniforme en todo el sistema de producción.
4. Los artículos comprados a los proveedores se entregan cuando se necesitan y, de hecho, a menudo se entregan directamente a la línea de producción.

Global

Toyota Motor Corporation, por ejemplo, crea un plan de producción anual que muestra el número total de automóviles por fabricar y vender. El plan de producción agregado crea los requerimientos del sistema para producir esta cantidad total con una programación nivelada. El secreto del éxito en la programación nivelada japonesa es la *uniformidad de la producción*. El plan agregado se traduce en programas mensuales y diarios que manejan los productos en *secuencia* en todo el sistema de producción. En esencia, el procedimiento es el siguiente: con dos meses de anticipación se establecen los tipos y cantidades de automóviles. Esto se convierte en un plan detallado un mes antes. Estas cantidades se dan a los subcontratistas y proveedores para que puedan planificar la forma en que van a cubrir las necesidades de Toyota. Luego, las necesidades mensuales de distintos tipos de automóviles se convierten en programas diarios. Por ejemplo, si en un mes se necesitan 8 000 unidades del automóviles tipo A, además de 6 000 del tipo B, 4 000 del tipo C y 2 000 del tipo D, y si se supone que la línea funciona 20 días al mes, se tendría una producción diaria de 400, 300, 200 y 100, respectivamente. Además, se seguiría una secuencia de cuatro unidades de A, tres de B, dos de C y una de D cada 9.6 minutos en un día de dos turnos (960 minutos).



Cada trabajador opera un número determinado de máquinas para fabricar una secuencia de productos. Con el fin de emplear esta técnica de programación nivelada,

1. La producción debe ser repetitiva (formato de línea de ensamblaje).
2. El sistema debe contar con exceso de capacidad.
3. La producción del sistema debe ser fija durante un periodo (de preferencia un mes).
4. Debe existir una relación uniforme entre compras, marketing y producción.
5. El costo de manejo de inventario debe ser alto.
6. Los costos del equipo deben ser bajos.
7. La mano de obra debe tener habilidades múltiples.

Hay más información sobre la programación nivelada en los programas de producción esbelta, en el capítulo 13. Vea también el análisis sobre cómo equilibrar la línea de modelos mixtos en el capítulo 6.

Manejo del rendimiento

Manejo del rendimiento

¿Por qué el hombre que está sentado a su lado en un avión pagó la mitad de lo que usted pagó por su boleto? ¿Por qué la habitación de un hotel resultó más cara cuando la reservó hace seis meses que cuando se registró en el hotel sin tener ninguna reservación (o viceversa)? Las respuestas radican en la práctica conocida como manejo del rendimiento. El **manejo del rendimiento** se define como el proceso de distribuir la clase de capacidad adecuada para el tipo de cliente correcto al precio y el tiempo apropiados para maximizar el ingreso o la producción. El manejo del rendimiento es una estrategia muy útil para que la demanda sea más predecible, característica importante de la planificación agregada.

Servicio

El manejo del rendimiento ha existido desde que hay una capacidad limitada para servir a los clientes. Sin embargo, su aplicación científica generalizada comenzó con el sistema de reservaciones por computadora (SABRE) de American Airlines, que se inició a mediados de la década de 1980. El sistema permitió a la línea aérea cambiar los precios de los boletos en cualquier ruta de manera instantánea en función de la demanda pronosticada. Peoples' Express, línea aérea competidora de bajo costo, fue una de las víctimas más famosas del sistema de manejo de la producción de American. Básicamente, el sistema permitió la actualización cada hora de las rutas competidoras, de modo que American logró igualar o mejorar los precios siempre que

Peoples' Express volaba. El presidente de Peoples' Express se dio cuenta de que había perdido la batalla cuando su madre viajó en un avión de American a un precio más bajo del que Peoples' podía ofrecer.

Desde la perspectiva operativa, el manejo del rendimiento es más eficaz cuando:

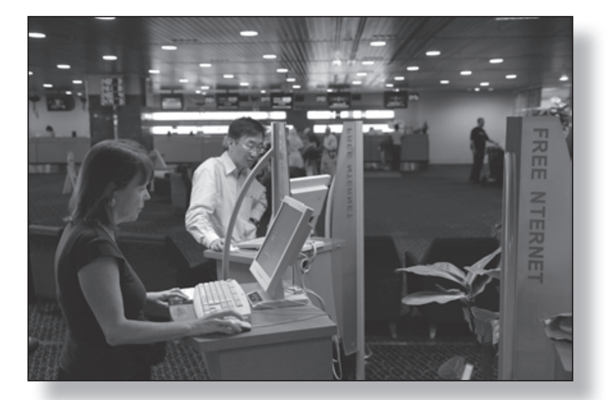
1. La demanda se segmenta por cliente.
2. Los costos fijos son altos y los variables son bajos.
3. El inventario es perecedero.
4. El producto se puede vender por anticipado.
5. La demanda es muy variable.

Los hoteles ilustran muy bien estas cinco características. Ofrecen un conjunto de tarifas durante la semana para los viajeros de negocios y otro los fines de semana para los vacacionistas. Los costos variables relacionados con una habitación (como la limpieza) son bajos en comparación con el costo de agregar habitaciones a la propiedad. Los cuartos disponibles no se pueden transferir de una noche a otra y es posible vender bloques de habitaciones para convenciones o excursiones. Por último, es probable que los clientes potenciales acorten su estancia o nunca lleguen.

La mayor parte de las organizaciones (como líneas aéreas, agencias de renta de autos, cruceros y hoteles) maneja el rendimiento de acuerdo con reglas de decisión para tarifas de apertura o cierre en función de la demanda esperada y la oferta disponible. Las metodologías para hacerlo son muy complejas. Una estrategia común consiste en pronosticar la demanda durante el horizonte de planificación y, con un análisis marginal, determinar las tarifas por cobrar si se pronostica que la demanda será superior o inferior a los límites de control establecidos en torno a la media pronosticada.

CÓMO OPERAR SISTEMAS DE MANEJO DEL RENDIMIENTO

Al manejar el rendimiento surgen varios problemas interesantes. Uno es que las estructuras de precios deben parecer lógicas para el cliente y justificar los distintos precios. Tal justificación, que por lo regular se conoce como *niveles de tarifas*, puede tener una base física (como una habitación con vista panorámica) o no física (como acceso ilimitado a internet). Asimismo, el precio debe guardar una relación con los problemas de capacidad específicos. Si la capacidad es suficiente para cubrir la demanda más alta, el acento debe estar en reducciones de precios que estimulen la demanda. Si la capacidad es insuficiente, es probable que ofrecer descuentos a los clientes que llegan en periodos en que la demanda no es la más alta (o crear otros lugares de servicio) mejore la generación de ingresos.



Un hotel con acceso gratis a internet es un ejemplo de un nivel de tarifa no físico.

Un segundo problema es el manejo de la variabilidad en los tiempos de llegada o inicio, la duración y el tiempo entre cada cliente. Esto implica métodos de pronóstico muy precisos (mientras mayor sea la precisión en el pronóstico de la demanda, es más probable que el manejo tenga éxito); políticas coordinadas en cuanto al exceso de reservaciones, depósitos y penas por cancelar o no llegar; y procesos de servicio bien diseñados que sean confiables y consistentes.

Un tercer problema se relaciona con la administración del proceso de servicio. Algunas estrategias incluyen la programación de personal adicional para cubrir la demanda más alta; aumentar la coproducción con los clientes; crear una capacidad ajustable; aprovechar la capacidad no utilizada para los servicios complementarios; y capacitar a los empleados en todas las funciones para crear reservas para los periodos pico.

El cuarto y quizá más crítico problema es capacitar a empleados y gerentes para que trabajen en un entorno en el que las reservaciones en exceso y los cambios de precios son sucesos comunes con un impacto directo en el cliente. Las empresas diseñaron formas creativas de convencer a los clientes con reservas sin respaldo. Una compañía de golf ofrece $100 en productos a los jugadores que tienen una reservación así. Desde luego, las líneas aéreas ofrecen con frecuencia a los pasajeros en esta situación boletos gratis para otros vuelos.

Servicio

ILUSTRACIÓN 16.9
Matriz de duración de precio/servicio: ubicación de industrias de servicio seleccionadas.

		Precio	
		Fijo	Variable
Duración	Previsible	Cines Estadios/arenas Centros de convenciones	Hoteles Líneas aéreas Autos en renta Cruceros
Duración	Imprevisible	Restaurantes Campos de golf Proveedores de servicio de internet	Hospitales de cuidado continuo

Fuente: S. Kimes y R. B. Chase, "The Strategic Levers of Yield Management", *Journal of Service Research* 1, núm. 2, 1998, pp. 298-308. Copyright © Sage Publishers. Reimpreso con autorización de Sage Publications, Inc.

La esencia del manejo de la producción es la habilidad de manejar la demanda. Kimes y Chase sugieren dos niveladores estratégicos con este fin: precio y control de la duración.[3] Si se piensa en estos dos niveladores en forma de matriz (vea la ilustración 16.9) con el precio fijo o variable y una duración previsible o imprevisible, las aplicaciones tradicionales del manejo del rendimiento se administran en las empresas localizadas en el cuadrante de precio variable/duración previsible. Este tipo de matriz proporciona un marco de trabajo para que una empresa identifique su posición y las acciones necesarias para manejar el rendimiento. Por ejemplo, una acción que controla el manejo sería convertir la prestación de un servicio en un momento indeterminado en una oferta basada en el tiempo. Esto mejora la planificación de reservaciones y por ende la distribución de los recursos. Un ejemplo sería pedir a los comensales que reserven un bloque de tiempo fijo para cenar en un restaurante (por ejemplo, de 7 a 8 p.m.) en lugar de una reservación abierta para una mesa a las 7 p.m.

Resumen

La planificación de ventas y operaciones y el plan agregado convierten la estrategia corporativa y los planes de capacidad en las amplias categorías de tamaño de mano de obra, cantidad del inventario y niveles de producción.

Las variaciones de la demanda son un hecho de la vida, de modo que el sistema de planificación debe incluir la flexibilidad suficiente para manejarlas. Esta flexibilidad se logra mediante fuentes alternativas de oferta, capacitación para los trabajadores en todas las funciones de modo que manejen gran variedad de pedidos y el compromiso con una revisión de la planificación más frecuente durante los periodos de demanda muy alta.

Es preciso apegarse a las reglas de decisión para la planificación de la producción una vez seleccionadas. Sin embargo, es necesario analizarlas con detenimiento antes de aplicarlas con métodos como la simulación de la información histórica para saber lo que de verdad habría sucedido si las reglas de decisión hubieran operado en el pasado.

El manejo del rendimiento es una herramienta importante útil para dar forma a los patrones de la demanda con el fin de que una empresa opere con mayor eficiencia.

Conceptos clave

Plan agregado de operaciones Convertir los planes de negocios anuales y trimestrales en planes de mano de obra y producción de mediano plazo. El objetivo es reducir al mínimo el costo de los recursos necesarios para cubrir la demanda.

Planificación de ventas y operaciones Término que se refiere al proceso que ayuda a las empresas a mantener un equilibrio entre demanda y oferta. La terminología pretende capturar la importancia del trabajo multifuncional.

Planificación de largo plazo Actividad que por lo regular se realiza cada año y se enfoca en un horizonte de un año o más.

Planificación de mediano plazo Actividad que por lo general cubre un periodo de 3 a 18 meses con incrementos semanales, mensuales o trimestrales.

Planificación de corto plazo Planificación que cubre un periodo de menos de seis meses con incrementos diarios o semanales.

Índice de producción Número de unidades terminadas por unidad de tiempo.

Nivel de mano de obra Número de empleados de producción necesarios en cada periodo.

[3] S. Kimes y R. B. Chase, "The Strategic Levers of Yield Management", *Journal of Service Research* 1, núm. 2, 1998, pp. 298-308.

Inventario a la mano Inventario no utilizado transferido del periodo anterior.

Estrategias de planificación de la producción Planes que comprenden equilibrios entre el tamaño de la mano de obra, horas laborales, inventario y pedidos acumulados.

Estrategia pura Plan que aplica solo una de las opciones disponibles para cubrir la demanda. Las opciones comunes son la adecuación a la demanda, que utiliza una mano de obra estable con tiempo extra o empleados de medio tiempo, y la producción constante con un inventario que absorbe los periodos de escasez y exceso.

Estrategia mixta Plan que combina las opciones disponibles para cubrir la demanda.

Manejo del rendimiento Distribuir el tipo de capacidad correcto entre el tipo de cliente adecuado al precio y en el momento apropiados para maximizar los ingresos o la producción.

Problema resuelto

Jason Enterprises (JE) produce teléfonos con video para el mercado casero. La calidad no es tan buena como podría ser, pero el precio de venta es bajo y Jason estudia la respuesta del mercado mientras invierte más tiempo en investigación y desarrollo.

Sin embargo, en esta etapa, JE necesita un plan agregado de producción para los seis meses entre enero y junio. Usted tiene la responsabilidad de crear ese plan. La siguiente información le ayudará:

Excel: Problema resuelto de planificación agregada

Demanda y días hábiles

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Totales
Pronóstico de la demanda	500	600	650	800	900	800	4 250
Número de días hábiles	22	19	21	21	22	20	125

Costos

Materiales	$100.00/unidad
Costo de mantenimiento del inventario	$10.00/unidad/mes
Costo marginal del inventario agotado	$20.00/unidad/mes
Costo marginal de subcontratación	$100.00/unidad ($200 del costo de subcontratación menos $100 de ahorro en material)
Costo de contratación y capacitación	$50.00/trabajador
Costo de despido	$100.00/trabajador
Horas laborales requeridas	4/unidad
Costo del tiempo normal (primeras ocho horas al día)	$12.50/hora
Costo del tiempo extra (tiempo y medio)	$18.75/hora

Inventario

Inventario inicial	200 unidades
Inventario de seguridad requerido	0% de la demanda mensual

¿Cuál es el costo de cada una de las siguientes estrategias de producción?

a) Producir exactamente para cubrir la demanda; variar la mano de obra (si se supone que la mano de obra inicial equivale a los requerimientos del primer mes).
b) Mano de obra constante; variar el inventario y solo permitir periodos de escasez (si se supone una mano de obra inicial de 10).
c) Mano de obra constante de 10; utilizar subcontratación.

Solución

Requisitos para la planificación agregada de la producción

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Totales
Inventario inicial	200	0	0	0	0	0	
Pronóstico de la demanda	500	600	650	800	900	800	
Inventario de seguridad (0.0 × pronóstico de la demanda)	0	0	0	0	0	0	
Requerimiento de producción (pronóstico de la demanda + inventario de seguridad – inventario inicial)	300	600	650	800	900	800	
Inventario final (inventario inicial + requerimiento de producción – pronóstico de la demanda)	0	0	0	0	0	0	

(*continúa*)

(*continuación*)

Plan de producción 1. Producción exacta, mano de obra variable

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Totales
Requerimiento de producción	300	600	650	800	900	800	
Horas de producción requeridas (requerimiento de producción × 4 h/unidad)	1 200	2 400	2 600	3 200	3 600	3 200	
Días hábiles por mes	22	19	21	21	22	20	
Horas por mes por trabajador (días hábiles × 8 h/día)	176	152	168	168	176	160	
Trabajadores requeridos (horas de producción requeridas/horas por mes por trabajador)	7	16	15	19	20	20	
Nuevos trabajadores contratados (si se supone una mano de obra inicial igual al requerimiento del primer mes de 7 trabajadores)	0	9	0	4	1	0	
Costo de contratación (nuevos trabajadores contratados × $50)	$0	$450	$0	$200	$50	$0	$700
Trabajadores despedidos	0	0	1	0	0	0	
Costo de despido (trabajadores despedidos × $100)	$0	$0	$100	$0	$0	$0	$100
Costo del tiempo normal (horas de producción requeridas × $12.50)	$15 000	$30 000	$32 500	$40 000	$45 000	$40 000	$202 500
						Costo total	$203 300

Plan de producción 2. Mano de obra constante, inventario e inventario agotado variables

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Totales
Inventario inicial	200	140	–80	–310	–690	–1 150	
Días hábiles por mes	22	19	21	21	22	20	
Horas de producción disponibles (días hábiles por mes × 8 h/día × 10 trabajadores)*	1 760	1 520	1 680	1 680	1 760	1 600	
Producción real (horas de producción disponibles/4 h/unidad)	440	380	420	420	440	400	
Pronóstico de la demanda	500	600	650	800	900	800	
Inventario final (inventario inicial + producción real – pronóstico de la demanda)	140	–80	–310	–690	–1 150	–1 550	
Costo de escasez (unidades faltantes × 20 dólares)	$0	$1 600	$6 200	$13 800	$23 000	$31 000	$75 600
Inventario de seguridad	0	0	0	0	0	0	
Exceso de unidades (inventario final – inventario de seguridad, solo si la cantidad es positiva)	140	0	0	0	0	0	
Costo de inventario (exceso de unidades × $10)	$1 400	$0	$0	$0	$0	$0	$1 400
Costo del tiempo normal (horas de producción disponibles × $12.50)	$22 000	$19 000	$21 000	$21 000	$22 000	$20 000	$125 000
						Costo total	$202 000

* Si se supone una mano de obra constante de 10.

Plan de producción 3. Mano de obra constante, subcontratación

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Totales
Requerimiento de producción	300	460†	650	800	900	800	
Días hábiles por mes	22	19	21	21	22	20	
Horas de producción disponibles (días hábiles × 8 h/día × 10 trabajadores)*	1 760	1 520	1 680	1 680	1 760	1 600	
Producción real (horas de producción disponibles/4 h por unidad)	440	380	420	420	440	400	
Unidades subcontratadas (requerimientos de producción – producción real)	0	80	230	380	460	400	
Costo de subcontratación (unidades subcontratadas × $100)	$0	$8 000	$23 000	$38 000	$46 000	$40 000	$155 000
Costo del tiempo normal (horas de producción disponibles × $12.50)	$22 000	$19 000	$21 000	$21 000	$22 000	$20 000	$125 000
							Costo total $280 000

* Si se supone una mano de obra constante de 10.
† 600 – 140 unidades del inventario inicial en febrero.

Resumen

Descripción del plan	Contratación	Despidos	Subcontratación	Tiempo normal	Escasez	Exceso de inventario	Costo total
1. Producción exacta; mano de obra variable	$700	$100		$202 500			$203 300
2. Mano de obra constante; inventario y periodos de escasez variables				$125 500	$75 600	$1 400	$202 000
3. Mano de obra constante; subcontratación			$155 000	$125 000			$280 000

Preguntas de repaso y análisis

1. ¿Cuál es la principal diferencia entre la planificación agregada en la manufactura y la planificación agregada en los servicios?
2. ¿Cuáles son las variables controlables básicas de un problema de planificación de la producción? ¿Cuáles son los cuatro costos principales?
3. Explique la diferencia entre las estrategias pura y mixta en la planificación de la producción.
4. Defina la programación por niveles. ¿En qué se diferencia de las estrategias puras en la planificación de la producción?
5. ¿Cómo se relaciona, en general, la precisión en el pronóstico con la aplicación práctica de los modelos de planificación agregada estudiados en el capítulo?
6. ¿De qué forma el horizonte de tiempo elegido para un plan agregado determina si es el mejor plan para la empresa?
7. Revise las viñetas al principio del capítulo. ¿De qué manera la planificación de ventas y operaciones ayuda a resolver los problemas de escasez de productos?
8. ¿Cómo aplicaría los conceptos del manejo del rendimiento en una peluquería? ¿Y en una máquina expendedora de refrescos?

Problemas

1. Para el problema resuelto diseñe el plan menos costoso que pueda. Elija su mano de obra inicial.
2. Elabore un plan de producción y calcule el costo anual para una empresa cuyo pronóstico de la demanda es en otoño, 10 000; en invierno, 8 000; en primavera, 7 000; en verano, 12 000. El inventario a principios de otoño es de 500 unidades. En este momento, principios de otoño, tiene 30 trabajadores, pero planifica contratar trabajadores temporales a principios de verano y despedirlos al terminar esa estación. Además, negoció con el sindicato la opción de utilizar la mano de obra regular en tiempo extra durante invierno o primavera en caso de que sea necesario para evitar que el inventario se agote al terminar cada uno de esos trimestres. *No* hay tiempo extra durante el otoño. Los costos relevantes son:

contratación, $100 por cada trabajador; despido, $200 por cada trabajador despedido; mantenimiento de inventario, $5 por unidad-trimestre; pedidos demorados, $10 por unidad; tiempo normal, $5 por hora; tiempo extra, $8 por hora. Suponga que la productividad es de 0.5 unidades por hora laboral, con ocho horas al día y 60 días por temporada.

3. Planee la producción para un periodo de cuatro meses: de febrero a mayo. Para el periodo de febrero a marzo debe producir para cumplir con el pronóstico exacto de la demanda. Para abril y mayo debe utilizar tiempo extra y el inventario con una mano de obra estable; *estable* significa que el número de trabajadores necesarios para marzo se mantendrá constante hasta mayo. Sin embargo, las restricciones gubernamentales establecen un máximo de 5 000 horas extra por mes en abril y mayo (cero tiempo extra en febrero y marzo). Si la demanda supera a la oferta, habrá pedidos demorados. El 31 de enero hay 100 trabajadores. Usted cuenta con el siguiente pronóstico de la demanda: febrero, 80 000; marzo, 64 000; abril, 100 000; mayo, 40 000. La productividad es de cuatro unidades por hora laboral, ocho horas al día, 20 días al mes. Suponga un inventario de cero el 1 de febrero. Los costos son: contratación, $50 por trabajador nuevo; despido, $70 por trabajador despedido; mantenimiento del inventario, $10 por unidad al mes; tiempo normal de mano de obra, $10 por hora; tiempo extra, $15 por hora; pedidos demorados, $20 por unidad. Calcule el costo total de este plan.

4. Planee la producción para el próximo año. El pronóstico de la demanda es: primavera, 20 000; verano, 10 000; otoño, 15 000; invierno, 18 000. A principios de la primavera tiene 70 trabajadores y 1 000 unidades en el inventario. El contrato con el sindicato especifica que puede despedir trabajadores solo una vez al año, a principios del verano. Asimismo, solo puede contratar empleados a finales del verano para empezar el trabajo regular en otoño. El número de trabajadores despedidos a principios del verano y el número de empleados contratados al final de dicha estación debe dar como resultado los niveles de producción planificados para verano y otoño que equivalen a los pronósticos de la demanda para esas estaciones, respectivamente. Si la demanda supera a la oferta, utilice el tiempo extra solo en primavera, lo que significa que puede haber pedidos acumulados en invierno. Los costos son los siguientes: contratación, $100 por trabajador nuevo; despido, $200 por trabajador despedido; mantenimiento del inventario, $20 por unidad al trimestre; costo de pedidos acumulados, $8 por unidad; tiempo normal de mano de obra, $10 por hora; tiempo extra, $15 por hora. La productividad es de 0.5 unidades por hora laboral, ocho horas por día, 50 días por trimestre. Calcule el costo total.

5. DAT, Inc., necesita un plan agregado para su línea de productos. Los datos relevantes son

Tiempo de producción	1 hora por unidad	Inventario inicial	500 unidades
Costo promedio de mano de obra	$10 por hora	Inventario de seguridad	Medio mes
Semana laboral	5 días, 8 horas al día	Costo de escasez	$20 por unidad al mes
Días por mes	Suponga 20 días hábiles al mes	Costo de transporte	$5 por unidad al mes

El pronóstico para el próximo año es:

Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
2 500	3 000	4 000	3 500	3 500	3 000	3 000	4 000	4 000	4 000	3 000	3 000

La gerencia prefiere mantener una mano de obra y un nivel de producción constantes, y absorber las variaciones de la demanda mediante escasez y exceso de inventario. La demanda que no se cubre pasa al mes siguiente.

Elabore un plan agregado que cubra la demanda y las demás condiciones del problema. No trate de encontrar la solución óptima; solo busque una buena solución y establezca el procedimiento que podría usar para probar una mejor solución. Haga todas las suposiciones necesarias.

6. Old Pueblo Engineering Contractors crea horarios “cambiantes” por seis meses, que se calculan cada mes. Por razones competitivas (necesitarían divulgar los criterios de diseño patentados, métodos, etc.), Old Pueblo no subcontrata. Por tanto, sus únicas opciones para cubrir los requerimientos de los clientes son 1) trabajar durante el tiempo regular; 2) trabajar tiempo extra, que se limita a 30% del tiempo regular; 3) hacer el trabajo para los clientes con anticipación, lo que tendría un costo adicional de $5 por hora al mes, y 4) realizar el trabajo para los clientes en fechas posteriores, lo que tendría un costo adicional de $10 por hora al mes, por las penalizaciones estipuladas en el contrato.

Old Pueblo tiene 25 ingenieros en su personal con una tarifa de $30 por hora. La cuota por hora extra es de $45. Los requerimientos de los clientes por hora durante los seis meses de enero a junio son

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
5 000	4 000	6 000	6 000	5 000	4 000

Elabore un plan agregado con una hoja de cálculo. Suponga que hay 20 días hábiles por mes.

7. Alan Industries amplía su línea de productos para incluir modelos nuevos: modelo A, modelo B y modelo C. Se van a producir con el mismo equipo de producción y el objetivo es cubrir las demandas de los tres productos con horas extra siempre que sea necesario. El pronóstico de la demanda para los próximos cuatro meses, en horas requeridas, es

Producto	Abril	Mayo	Junio	Julio
Modelo A	800	600	800	1 200
Modelo B	700	700	900	1 100
Modelo C	600	500	700	850

Como los productos se deterioran con rapidez, hay una pérdida muy alta en la calidad y, en consecuencia, un costo de transportación elevado en los periodos siguientes. La producción de cada hora en los meses futuros costará $3 por hora productiva del modelo A, $4 para el modelo B y $5 para el modelo C.

La producción puede tener lugar durante el tiempo normal o extra. El tiempo normal se paga a $4 al trabajar en el modelo A, $5 en el modelo B y $6 en el modelo C. El costo adicional del tiempo extra es de 50%.

La capacidad de producción disponible para el tiempo normal y el tiempo extra es

	Abril	Mayo	Junio	Julio
Tiempo normal	1 500	1 300	1 800	1 700
Tiempo extra	$700	650	900	850

a) Represente el problema en forma de matriz y muestre los costos apropiados.
b) Muestre una solución factible.

8. Shoney Video Concepts produce una línea de reproductores de videodiscos que se conectan a computadoras personales para juegos de video. Los videodiscos tienen un tiempo de acceso mucho más corto que una cinta. Con este vínculo entre la computadora y el video, el juego ofrece una experiencia muy realista. Por ejemplo, en un juego de manejo sencillo, donde la palanca dirige el vehículo, en lugar de ver gráficos por computadora en la pantalla, el reproductor ve un segmento de una toma del videodisco de un vehículo real en movimiento. Según la acción del reproductor (golpear una barda de contención, por ejemplo), el disco pasa casi al instante a ese segmento y el reproductor se vuelve parte de un accidente real de vehículos verdaderos (actuado, desde luego).

Shoney trata de determinar un plan de producción para los próximos 12 meses. El criterio principal para este plan es que el nivel de empleo debe permanecer constante durante el periodo. Shoney continúa con sus esfuerzos de investigación y desarrollo para poner en práctica aplicaciones nuevas y prefiere no provocar ningún sentimiento negativo entre la mano de obra local. Por la misma razón, todos los empleados deben trabajar semanas laborales completas, aunque no sea la opción de costo más bajo. El pronóstico para los próximos 12 meses es

Mes	Demanda pronosticada	Mes	Demanda pronosticada
Enero	600	Julio	200
Febrero	800	Agosto	200
Marzo	900	Septiembre	300
Abril	600	Octubre	700
Mayo	400	Noviembre	800
Junio	300	Diciembre	900

El costo de manufactura es de $200 por consola, dividido en partes iguales entre material y mano de obra. El costo de almacenamiento en inventario es de $5 al mes. Una escasez de consolas da como resultado ventas perdidas con un costo general estimado de $20 por unidad faltante.

El inventario a la mano al principio del periodo de planificación es de 200 unidades. Son necesarias diez horas laborales por reproductor de videodiscos. El día hábil es de ocho horas.

Elabore una programación de producción agregada para el año con mano de obra constante. Para facilitar las cosas, suponga que cada mes tiene 22 días hábiles excepto julio, cuando la planta cierra para un periodo vacacional de tres semanas (y quedan solo siete días hábiles). Suponga que la capacidad de producción total es mayor o igual a la demanda total.

9. Elabore una programación de producción para fabricar los requerimientos de producción exactos variando el tamaño de la mano de obra para el problema siguiente. Utilice como guía el ejemplo en el capítulo (Plan 1).

Los pronósticos mensuales para el producto X en enero, febrero y marzo son 1 000, 1 500 y 1 200, respectivamente. La política sobre el inventario de seguridad recomienda que la mitad del pronóstico para ese mes se defina como inventario de seguridad. Hay 22 días hábiles en enero, 19 en febrero y 21 en marzo. El inventario inicial es de 500 unidades.

El costo de manufactura es de $200 por unidad, el costo de almacenamiento es de $3 por unidad al mes, la tarifa de pago estándar es de $6 la hora, la tarifa de tiempo extra es de $9 por hora, el costo del inventario agotado es de $10 por unidad al mes, el costo marginal de subcontratación es de $10 dólares por unidad, el costo de contratación y capacitación es de $200 por trabajador, el costo de despido es de $300 por empleado y la productividad por trabajador es de 0.1 unidades por hora. Suponga que empieza con 50 empleados y que trabajan ocho horas al día.

10. Helter Industries, compañía que produce una línea de trajes de baño para dama, contrata empleados temporales para cubrir la demanda de su producto durante el verano. Para el calendario cambiante actual de cuatro meses hay tres empleados temporales y 12 empleados de tiempo completo. Es posible contratar a los trabajadores temporales cuando se necesiten y utilizarlos según se requiera, mientras que a los empleados de tiempo completo se les debe pagar sean necesarios o no. Cada empleado de tiempo completo produce 205 unidades, mientras cada que trabajador de medio tiempo, 165 trajes al mes.

La demanda de trajes de baño para los próximos cuatro meses es la siguiente:

Mayo	Junio	Julio	Agosto
3 200	2 800	3 100	3 000

El inventario inicial en mayo es de 403 trajes de baño completos (un traje completo incluye dos piezas). Los trajes de baño tienen un costo de producción de $40 y el costo de manejo es de 24% anual.

Elabore un plan agregado con una hoja de cálculo.

CASO: BRADFORD MANUFACTURING: PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN FABRIL

Excel: Bradford Manufacturing

LA SITUACIÓN

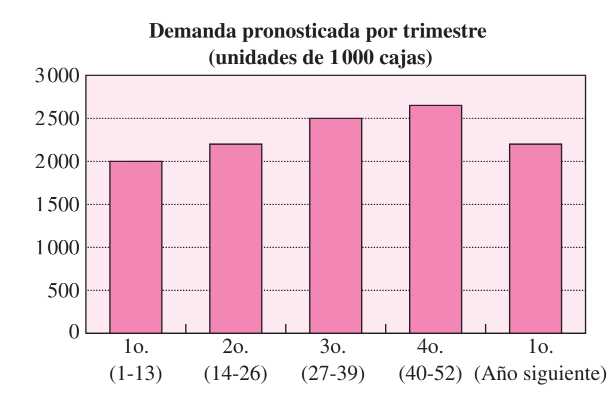
Usted es el gerente operativo de una planta de manufactura que produce pudines. Una de sus responsabilidades importantes es preparar un plan agregado para la planta. Este plan proporciona información importante para el proceso de elaboración del presupuesto anual. Contiene datos como índices de producción, requerimientos de mano de obra para la manufactura y niveles de inventario de bienes terminados proyectados para el próximo año.

Las pequeñas cajas de mezcla para pudín se producen en las líneas de empacado de su planta. Una línea de empacado tiene varias máquinas unidas por bandas transportadoras. Al principio de la línea se mezcla el pudín y luego se coloca en pequeños paquetes. Estos paquetes se insertan en las pequeñas cajas de pudín, que se recopilan y guardan en cajas con 48 cajas de pudín. Por último, se juntan 160 cajas y se colocan en una plataforma de carga. Las plataformas se apilan en un área de embarque desde la cual se envían a cuatro centros de distribución. Con el paso del tiempo mejoró la tecnología de las líneas de empaque de modo que es posible fabricar todos los sabores en lotes relativamente pequeños sin un tiempo de preparación para cambiar de un sabor a otro. La planta tiene 15 de estas líneas, pero en la actualidad solo se utilizan 10. Se necesitan 6 empleados para manejar cada línea.

La demanda de este producto fluctúa de un mes a otro. Además, existe un componente estacional, con las ventas más altas antes del Día de Gracias, Navidad y Semana Santa. Para complicar las cosas, al final del primer trimestre de cada año, el grupo de marketing maneja una promoción en la cual se ofrecen descuentos especiales en compras grandes. El negocio va bien, y la compañía experimentó un incremento general en las ventas.

La planta envía el producto a cuatro almacenes de distribución grandes localizados de manera estratégica en Estados Unidos. El producto se transporta en camiones todos los días. Las cantidades enviadas se basan en la conservación de los niveles de inventario meta en los almacenes. Estas metas se calculan con base en semanas de suministro anticipadas en cada almacén. Las metas actuales se establecen en dos semanas de suministro.

Desde hace tiempo, la compañía tiene la política de manejar una producción muy cercana a las ventas esperadas debido a la capacidad limitada para guardar los bienes terminados. La capacidad de producción ha sido adecuada para apoyar esta política.



El departamento de marketing prepara un pronóstico de las ventas para el próximo año. Este pronóstico se basa en las cuotas de ventas trimestrales, con las cuales se establece un programa de incentivos para los vendedores. Las ventas son sobre todo a los grandes supermercados de Estados Unidos. El pudín se envía a los supermercados desde los almacenes de distribución con base en los pedidos que levantan los vendedores.

Su tarea inmediata consiste en preparar un plan agregado para el próximo año. Los factores técnicos y económicos que este plan debe considerar se muestran a continuación.

INFORMACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA

1. En la actualidad, el plan maneja 10 líneas sin tiempo extra. La operación de cada línea requiere seis personas. Para los propósitos de planificación, las líneas funcionan durante 7.5 horas en cada turno normal. Sin embargo, a los empleados se les pagan ocho horas de trabajo. Es posible manejar hasta dos horas de tiempo extra al día, pero es necesario programarlo con una semana de anticipación y todas las líneas deben funcionar tiempo extra cuando está programado. Los trabajadores reciben $20 por hora durante un turno normal y $30 por hora de tiempo extra. El índice de producción estándar para cada línea es de 450 cajas por hora.
2. El pronóstico de la demanda por parte de mercadotecnia es la siguiente: T1, 2 000; T2, 2 200; T3, 2 500; T4, 2 650, y T1 (año próximo), 2 200. Estas cifras se manejan en unidades de 1 000 cajas. Cada número representa un pronóstico de 13 semanas.
3. La gerencia pidió a manufactura que mantuviera un suministro de dos semanas de inventario de pudines en los almacenes. El suministro de dos semanas se debe basar en las ventas futuras esperadas. Los siguientes son los niveles de inventario final de cada trimestre: T1, 338; T2, 385; T3, 408; T4, 338.
4. Contabilidad calcula que el costo de manejo del inventario es de $1.00 por caja al año. Esto significa que si una caja de pudín se guarda en el inventario durante todo un año, el costo por manejarla en el inventario será de $1.00. Si la caja se guarda solo una semana, el costo es de $1.00/52, o $0.01923. El costo es proporcional al tiempo en el inventario. Hay 200 000 cajas en el inventario a principios del T1 (es decir, 200 cajas en las unidades de 1 000 cajas que da el pronóstico).
5. Si el inventario se agota, el artículo se maneja en un pedido demorado y se envía en una fecha posterior. El costo de un pedido demorado es de $2.40 por caja, debido a la pérdida de crédito y el alto costo del envío de emergencia.
6. El grupo de recursos humanos calcula que la contratación y la capacitación de un nuevo empleado de producción cuesta $5 000. El despido de un trabajador de producción tiene un costo de $3 000.

Preguntas

1. Prepare un plan agregado para el próximo año con la suposición de que el pronóstico de ventas es perfecto. Utilice la hoja de cálculo “Bradford Manufacturing”. En ella, hay un área designada para su plan agregado. Proporcione el número de líneas de empacado que van a funcionar y la cantidad de horas extra por cada trimestre. Será necesario preparar el estimado de los costos en la hoja de cálculo.

   Tal vez quiera probar el Solver de Excel para buscar una solución. Recuerde que su solución final necesita un número entero de líneas y un número entero de horas extra por cada trimestre. (Las soluciones que requieren 8.9134 líneas y 1.256 horas extra no son factibles.)
2. Revise su solución con detenimiento y prepárese para defenderla. Lleve una impresión de su solución a la clase.

Cuestionario

1. Término para el proceso con que una empresa equilibra oferta y demanda.
2. En la planificación agregada, son las tres variables relacionadas con operaciones generales que pueden hacerse variar.
3. Estrategia en la cual el índice de producción se establece para igualarla a la demanda esperada.
4. Cuando se usa tiempo extra para satisfacer la demanda y evitar los costos asociados a la contratación y despido de personal.
5. Estrategia que usa inventario y pedidos demorados como parte de la estrategia para satisfacer demanda.
6. A veces una compañía puede escoger tener todo o parte del trabajo terminado por un vendedor externo. Este es el término para designar el método.
7. Si la demanda esperada durante los siguientes cuatro trimestres fuera de 150, 125, 100, 75 mil unidades y cada trabajador produce 1 000 unidades por trimestre, ¿cuántos trabajadores deben emplearse si se utilizara una estrategia por niveles?
8. Con la información de la pregunta 7, ¿cuántos trabajadores se necesitarían para una estrategia de búsqueda?
9. En una situación de servicio, ¿cuál variable relacionada con operaciones generales no está disponible en comparación con una situación de producción?
10. Práctica de asignar capacidad y manipular demanda para hacerla más predecible.

1. Planificación de ventas y operaciones 2. Índice de producción, nivel de mano de obra, inventario 3. Búsqueda 4. Mano de obra estable, horas laborales variables 5. Estrategia por niveles 6. Subcontratación 7. 113 8. 150, 125, 100, 75 9. Inventario 10. Manejo del rendimiento

Bibliografía seleccionada

Brandimarte, P. y A. Villa (eds.), *Modeling Manufacturing Systems: From Aggregate to Real-Time Control,* Nueva York, Springer, 1999.

Fisher, M. L., J. H. Hammond, W. R. Obermeyer y A. Raman, “Making Supply Meet Demand in an Uncertain World”, *Harvard Business Review* 72, núm. 3, mayo-junio de 1994, pp. 83-93.

Narasimhan, S., D. W. McLeavey y P. J. Billington, *Production Planning and Inventory Control,* Englewood Cliffs, Nueva Jersey, Prentice Hall, 1995.

Silver, E. A., D. F. Pyke y R. Peterson, *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*, Nueva York, Wiley, 1998.

Vollmann, T. E., W. L. Berry, D. C. Whybark y F. R. Jacobs, *Manufacturing Planning and Control for Supply Chain Management*, 5a. ed., Nueva York, Irwin/McGraw-Hill, 2004.

Wallace, T. F., *Sales and Operations Planning: The How-To Handbook*, Cincinnati, Ohio, T.F. Wallace & Company, 2000.

Capítulo 17

CONTROL DE INVENTARIOS

Directo a tiendas. La visión de UPS

Los visionarios de la logística han hablado durante años acerca de eliminar, o al menos reducir drásticamente, la función del inventario en las cadenas de suministro modernas. Las cadenas de suministro más eficientes y sin "juego", después de todo, no tendrían necesidad de ningún inventario intermedio porque oferta y demanda estarían en perfecta sincronía. Sin duda, esta visión tiene su atractivo: la muerte del inventario significaría unos costos de logística considerablemente reducidos y una entrega del pedido más sencilla.

Cadena de suministro

Después de leer este capítulo, usted:

1. Explicará los diferentes propósitos para llevar un inventario.
2. Entenderá que el tipo de lógica de un sistema de inventario apropiado para un artículo depende del tipo de demanda de ese artículo.
3. Calculará el tamaño apropiado de pedido cuando deba hacerse una compra única.
4. Describirá cuál es la cantidad económica de un pedido y cómo calcularla.
5. Resumirá modelos de una cantidad de pedido fijo y de periodo fijo, inclusive formas para determinar existencias de seguridad cuando haya variabilidad de demanda.
6. Analizará por qué la rotación de inventarios guarda una relación directa con la cantidad de un pedido y el inventario de seguridad.

Todavía no hay necesidad de redactar el epitafio del inventario. Muchas empresas afinaron sus redes y tecnologías lo suficiente para eliminar la necesidad de al menos un inventario mínimo. Los gerentes de logística tienen que equilibrar con delicadeza todos los días lo siguiente:

- Costos de transporte contra rapidez de entrega
- Costos de inventario contra costo de no tener existencias
- Satisfacción del cliente contra costo de atención
- Nuevas capacidades contra rentabilidad

Y además, dos tendencias de negocios de acelerado crecimiento dificultan todavía más la sincronización de las cadenas de suministro.

Global

En primer lugar, las adquisiciones en todo el mundo obligan a las cadenas de suministro a extenderse cada vez más lejos de las fronteras. Los artículos que el público consume cada vez más provienen de otra parte del mundo, en particular de Asia. Esta aceleración de las adquisiciones mundiales cambia la ecuación de la logística. Cuando los artículos cruzan fronteras, aspectos como la rapidez de entrega (actividades ejecutadas una vez recibido el pedido) y costos de inventario se complican más. En segundo término, los poderosos vendedores al menudeo y otros influyentes clientes finales empiezan a presionar

hacia arriba las responsabilidades con valor agregado en la cadena de suministro. Más clientes piden a fabricantes, o a proveedores de logística de terceros, etiquetar y preparar artículos individuales para que los productos se encuentren listos para ir directamente a los estantes de las tiendas. Con más responsabilidades, por supuesto, llegan más costos. Los proveedores de las primeras fases siempre están a la búsqueda de formas de reducir más costos de otras áreas de la cadena de suministro, como transporte y distribución.

EL MÉTODO DIRECTO DE UPS

Un creciente número de empresas supera estas barreras al tomar un método más directo para hacer entregas en todo el mundo. Este método "directo a tiendas", también conocido como circunvalación central de distribución o de distribución directa, mantiene en movimiento el inventario del fabricante al cliente final y elimina paradas en almacenes a lo largo del camino. Como estas compañías reducen el ciclo de entrega y eliminan costos de inventario, el método directo a tiendas ofrece un buen equilibrio entre rapidez de entrega y costos de logística.

¿Qué explica la aparición del modelo directo a tiendas?

Las adquisiciones globales y la migración hacia las fases tempranas de los servicios de logística de valor agregado son sin duda los principales promotores, pero en años recientes se acomodaron otras piezas del rompecabezas y posibilitaron los envíos directos a tiendas.

Los enlaces electrónicos por internet entre socios de una cadena de suministro permitieron una mejor coordinación y colaboración entre los diversos segmentos de esa cadena. Entre tanto, al principio de la cadena de suministro, unos sistemas de punto de venta cada vez más complejos capturan los patrones de demanda de un producto. Esta información sube luego por la cadena de suministro hasta los fabricantes y proveedores de componentes. Mediante herramientas más precisas de pronóstico de ventas se reduce la especulación en las suposiciones y también la necesidad de grandes existencias de seguridad en inventarios. También hay ahora herramientas de rastreo y seguimiento de pedidos a través de fronteras y de diferentes socios de suministro.

En pocas palabras, las compañías ya no necesitan tanto inventario empolvándose en almacenes porque sincronizan mejor la producción y distribución con la demanda. El método directo a tiendas les permite mantener el inventario en movimiento a través de fronteras y por todo el mundo.

Para más información acerca de estos tipos de servicios vea Soluciones de una Cadena de Suministro de United Parcel Service of America (UPS) en www.ups.com

Se debe visualizar el inventario como montones de dinero guardados en estantes y anaqueles, así como en camiones y aviones mientras se encuentra en tránsito. Eso es el inventario: dinero. Para muchos negocios, el inventario es el activo más importante en el balance general en todo momento, aunque a menudo no es muy líquido. Una buena idea es reducir el inventario lo más posible.

Global

Hace algunos años, Heineken, la compañía de cerveza holandesa, imaginó que podía ahorrar mucho dinero en el inventario en tránsito si acortaba el tiempo de entrega pronosticado. Esperaban que sucedieran dos cosas: en primer lugar, reducir la necesidad de inventario, y también la cantidad de dinero destinado a él. En segundo lugar, pensaban que con un tiempo de pronóstico más breve, los pronósticos serían más precisos y habría menos emergencias y desperdicio. El sistema de Heineken, llamado HOPS, reduce el inventario general en el sistema de 16 a 18 semanas a solo 4 a 6 semanas, una gran diferencia de tiempo y una enorme ganancia en dinero. Los pronósticos fueron más exactos, y además hubo otro beneficio.

Heineken descubrió que sus vendedores de repente eran más productivos. Esto se debe a que ya no tenían que atender todas esas llamadas en las que había que revisar el inventario o resolver problemas debidos al mal pronóstico; tampoco tenían que alterar pedidos que ya estaban en proceso. En cambio, podían concentrarse en ofrecer un buen servicio a los clientes y ayudar a los distribuidores a ser más eficientes. Era una situación "ganadora" en todos los aspectos.

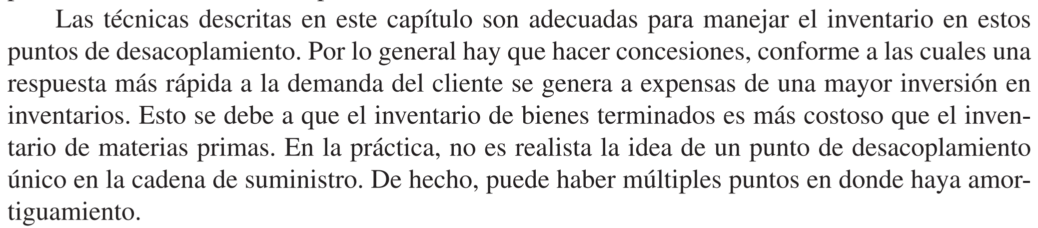
La clave consiste en hacer cosas que reduzcan el tiempo de los pedidos del inventario y aumenten la precisión de los pronósticos. Hay que buscar formas de utilizar los sistemas auto-

matizados y la comunicación electrónica para sustituir la complejidad de mover masas de átomos con el rápido movimiento de los electrones.

El beneficio económico de la reducción de inventarios es patente en las estadísticas siguientes: el costo promedio del inventario en Estados Unidos es de 30 a 35% de su valor. Por ejemplo, si una empresa maneja un inventario de $20 millones, le cuesta más de $6 millones al año. Estos costos se deben a obsolescencia, seguros y costos de oportunidad. Si la cantidad de inventario se redujese a $10 millones, por ejemplo, se ahorrarían más de $3 millones, mismos que irían directamente a las ganancias. Es decir, el ahorro por la reducción del inventario da como resultado mayores ganancias.

Cadena de suministro

Este capítulo y el 18 presentan técnicas diseñadas para manejar inventarios en distintos escenarios de la cadena de suministro. El enfoque de este capítulo es en los escenarios donde se pretende mantener un inventario que sea posible enviar al cliente con base en la demanda. Recuerde del capítulo 6 el concepto de *punto de desacoplamiento del pedido del cliente*, punto donde se ubica el inventario para que los procesos o entidades de la cadena de suministro operen de manera independiente. Por ejemplo, si un comerciante al menudeo lleva a mano un producto, el cliente lo toma del estante y el fabricante nunca ve el pedido del cliente. En este caso, el inventario actúa como amortiguador para separar al cliente del proceso de manufactura. La selección de puntos de desacoplamiento es una decisión estratégica que determina los tiempos de espera de clientes y afecta en gran medida la inversión en inventario. Cuanto más cerca se encuentre este punto del cliente, con más rapidez se le atenderá.



Las técnicas descritas en este capítulo son adecuadas para manejar el inventario en estos puntos de desacoplamiento. Por lo general hay que hacer concesiones, conforme a las cuales una respuesta más rápida a la demanda del cliente se genera a expensas de una mayor inversión en inventarios. Esto se debe a que el inventario de bienes terminados es más costoso que el inventario de materias primas. En la práctica, no es realista la idea de un punto de desacoplamiento único en la cadena de suministro. De hecho, puede haber múltiples puntos en donde haya amortiguamiento.

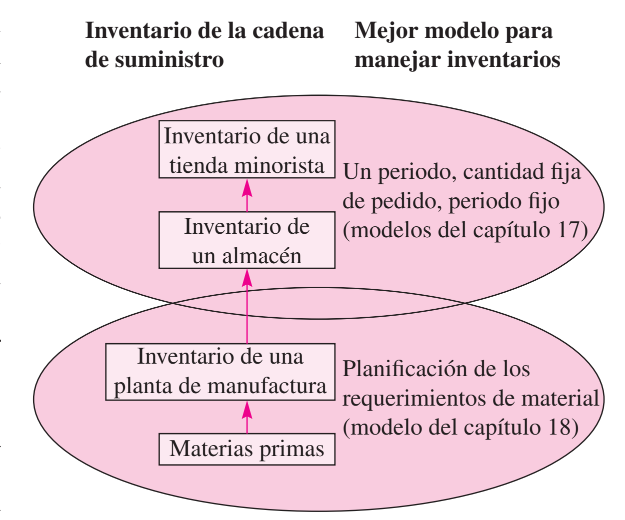
Servicio

Cadena de suministro

Algunos buenos ejemplos de los modelos descritos aquí son tiendas al menudeo, supermercados, distribuidores mayoristas, suministros a hospitales y las piezas necesarias para reparar o mantener equipos con rapidez. Las situaciones en las que sea necesario tener el artículo "en existencia" son candidatos ideales para los modelos descritos en este capítulo. Una distinción necesaria con los modelos de este capítulo es si se trata de una compra única, por ejemplo, para un artículo de temporada o para uso en un acto especial, o si el artículo se almacenará de manera permanente.

La ilustración 17.1 muestra distintos tipos de inventarios de la cadena de suministro, como materias primas, plantas de manufactura e inventarios en almacenes. En los niveles superiores de la cadena de suministro, que son los puntos de suministro más cercanos al cliente, por lo general se almacenan las existencias de modo que se entregue el producto con rapidez en el momento en que el cliente lo necesite. Desde luego, hay muchas excepciones, pero en general sucede así. El inventario de materias primas y en plantas de manufactura, que se llevan en el nivel inferior, potencialmente pueden manejarse de modo especial para aprovechar la planificación y sincronización necesarias para operar con eficiencia esta parte de la cadena de suministro. En este caso, los modelos de este capítulo son más apropiados para inventarios del nivel superior (minorista y almacén), y el nivel inferior debe usar la técnica de planificación de requerimientos materiales (MRP) descrita en el capítulo 18. La aplicabilidad de estos modelos puede diferir para otras situaciones, por ejemplo, cuando se produce directamente según pedido del cliente, como sucede con los fabricantes de aviones.

ILUSTRACIÓN 17.1
Inventarios de la cadena de suministro. Situación de fabricar para almacenar.



Las técnicas descritas aquí son más apropiadas cuando la demanda es difícil de predecir con gran precisión. En estos modelos, la demanda se caracteriza mediante una distribución de probabilidad

y se mantienen existencias de modo que se maneje el riesgo asociado al agotamiento de existencias. Para estas aplicaciones se analizan los siguientes tres modelos:

1. **Modelo de un solo periodo.** Se aplica cuando se realiza una compra única de un artículo. Un ejemplo puede ser comprar camisetas para vender en un acto deportivo único.
2. **Modelo de cantidad de pedido fijo.** Se aplica cuando se desea mantener un artículo "en existencia" y, cada vez que se reabastece, debe ordenarse cierto número de unidades. Se supervisa el inventario del artículo hasta que baje a un nivel donde el riesgo de agotarse sea tan grande que es necesario pedirlo.
3. **Modelo de tiempo fijo.** Es semejante al modelo de cantidad de pedido fijo; se aplica cuando debe haber existencias del artículo y estar listo para usarse. En este caso, más que vigilar el nivel del inventario y pedirlo cuando el nivel baje a una cantidad crítica, el artículo se pide con ciertos intervalos, por ejemplo, los viernes por la mañana. Con frecuencia esto es conveniente cuando se ordena en conjunto un grupo de artículos. Un ejemplo es la entrega de diversos tipos de pan a una tienda de abarrotes. El proveedor de la panadería puede tener 10 o más productos en almacén en una tienda, y en lugar de entregar cada producto individualmente en momentos diferentes, es mucho más eficiente entregar 10 juntos en el mismo programa.

En este capítulo deseamos mostrar no solo los números referentes al control de un gran inventario, sino también el "arte" de administrarlo. Garantizar la precisión en los registros de inventarios es esencial para manejar un proceso eficiente de control de inventarios. Las técnicas como el análisis ABC y el conteo de ciclo son esenciales para la administración real del sistema, pues concentran la atención en artículos de alto valor y garantizan la calidad de las transacciones que afectan el seguimiento de los niveles de inventario.

Definición de inventario

Inventario

Inventario son las existencias de una pieza o recurso utilizado en una organización. Un *sistema de inventario* es el conjunto de políticas y controles con los cuales se vigilan los niveles del inventario y determinan los que se van a mantener, el momento en que es necesario reabastecerlo y las dimensiones de los pedidos.

Por convención, el término *inventario de manufactura* se refiere a las piezas que contribuyen o se vuelven parte de la producción de una empresa. El inventario de manufactura casi siempre se clasifica como *materias primas*, *productos terminados*, *partes componentes*, *suministros* y *trabajo en proceso*. En los servicios, el término *inventario* por lo regular se refiere a los bienes tangibles por vender y los suministros necesarios para administrar el servicio.

El propósito básico del análisis del inventario en la manufactura y los servicios es especificar 1) cuándo es necesario pedir más piezas y 2) las cantidades de los pedidos. Muchas empresas suelen establecer relaciones de plazos mayores con los proveedores para cubrir sus necesidades quizá de todo un año. Esto cambia las cuestiones de "cuándo" y "cuántos pedir" por "cuándo" y "cuántos entregar".

Propósitos del inventario

Todas las empresas (inclusive las operaciones justo a tiempo) mantienen un suministro de inventario por las siguientes razones:

1. **Para mantener la independencia entre operaciones.** El suministro de materiales en el centro de trabajo permite flexibilidad en las operaciones. Por ejemplo, como hay costos por crear una nueva configuración para la producción, este inventario permite a la gerencia reducir el número de configuraciones.

   La independencia de las estaciones de trabajo también es deseable en las líneas de ensamble. El tiempo necesario para realizar operaciones idénticas varía de una unidad a

otra. Así, lo mejor es tener un remanente de varias partes en la estación de trabajo de modo que los tiempos de desempeño más breves compensen los tiempos de desempeño más largos. De esta manera, la producción promedio puede ser muy estable.

2. **Para cubrir la variación en la demanda.** Si se conoce con precisión la demanda del producto, quizá sea posible (aunque no necesariamente económico) producirlo en la cantidad exacta para cubrir la demanda. Sin embargo, por lo regular, la demanda no se conoce por completo, y es necesario tener inventarios de seguridad o de amortiguación para absorber la variación.
3. **Para permitir flexibilidad en la programación de la producción.** La existencia de un inventario alivia la presión sobre el sistema de producción para tener listos los bienes. Esto provoca tiempos de entrega más extensos, lo que permite una planificación de la producción para tener un flujo más tranquilo y una operación de menor costo en virtud de una producción de lotes más grandes. Por ejemplo, los costos altos de configuración favorecen la producción de mayor cantidad de unidades una vez que se realiza la configuración.
4. **Protegerse contra la variación del tiempo de entrega de materias primas.** Al pedir material a un proveedor ocurren demoras por distintas razones: una variación normal en el tiempo de envío, un faltante del material en la planta del proveedor que da lugar a pedidos acumulados, una huelga inesperada en la planta del proveedor o en una de las compañías que realizan el envío, un pedido perdido o un embarque de material incorrecto o defectuoso.
5. **Aprovechar los descuentos basados en el tamaño del pedido.** Hay costos relacionados con los pedidos: mano de obra, llamadas telefónicas, captura, envío postal y demás. Por tanto, mientras mayor sea el pedido, la necesidad de otros pedidos se reduce. Asimismo, los costos de envío favorecen los pedidos más grandes; mientras más grande sea el envío, menor será el costo unitario.

Por cada una de las razones anteriores (en especial los puntos 3, 4 y 5) es necesario tener presente que un inventario es costoso y que, por lo regular, las grandes cantidades no son recomendables. Los tiempos de ciclo prolongados se deben a las grandes cantidades de inventario y tampoco son adecuados.

Costos del inventario

Al tomar cualquier decisión que afecte el tamaño del inventario es necesario considerar los costos siguientes.

1. **Costos de mantenimiento (o transporte).** Esta amplia categoría abarca los costos de las instalaciones de almacenamiento, manejo, seguros, desperdicios, daños, obsolescencia, depreciación, impuestos y costo de oportunidad del capital. Como es obvio, los costos de mantenimiento suelen favorecer los niveles bajos de inventario y la reposición frecuente.
2. **Costos de preparación (o cambio de producción).** La fabricación de cada producto comprende la obtención del material necesario, el arreglo de las configuraciones específicas en el equipo, el llenado del papeleo requerido, el cobro apropiado del tiempo y el material, y la salida de las existencias anteriores.

   Si no hubiera costos ni tiempo perdido al cambiar de un producto a otro, se fabricarían muchos lotes pequeños. Esto reduciría los niveles de inventario, con un ahorro en los costos. Un desafío actual es reducir estos costos de preparación para permitir lotes más pequeños (tal es la meta de un sistema justo a tiempo).

Global

A los autos Prius y otros vehículos de Toyota se les aplica una cubierta protectora mientras esperan su embarque a los distribuidores del puerto de Long Beach, California, en Estados Unidos. En 2008, el valor del inventario de la empresa alcanzó un total de 1.83 billones de yenes, y el costo de artículos vendidos fue de 21.5 billones de yenes. Por tanto, el inventario de Toyota tuvo una rotación de 11.7 veces por año, o alrededor de 31 días de inventario en mano.

3. **Costos de pedidos.** Estos costos se refieren a los administrativos y de oficina por preparar la orden de compra o producción. Los costos de pedidos incluyen todos los detalles, como el conteo de piezas y el cálculo de las cantidades por pedir. Los costos asociados al mantenimiento del sistema necesario para rastrear los pedidos también se cuentan en esta categoría.
4. **Costos de faltantes.** Cuando se agotan las existencias de una pieza, el pedido debe esperar hasta que las existencias se vuelvan a surtir o bien es necesario cancelarlo. Hay un punto medio entre manejar existencias para cubrir la demanda y cubrir los costos que resultan por faltantes. En ocasiones es muy difícil lograr este equilibrio, pues quizá no sea posible estimar las ganancias perdidas, los efectos de los clientes perdidos o las penalizaciones por cubrir pedidos en una fecha tardía. Con frecuencia, el costo asumido por un faltante es un poco más alto, aunque casi siempre es posible especificar un rango de costos.

Establecer la cantidad correcta para pedir a los proveedores o el tamaño de los lotes en las instalaciones productivas de la empresa comprende la búsqueda del costo total mínimo resultante de los efectos combinados de cuatro costos individuales: de mantenimiento, de preparación, de pedidos y de faltantes. Desde luego, la oportunidad de estos pedidos es un factor crítico que puede tener un impacto en el costo de inventarios.

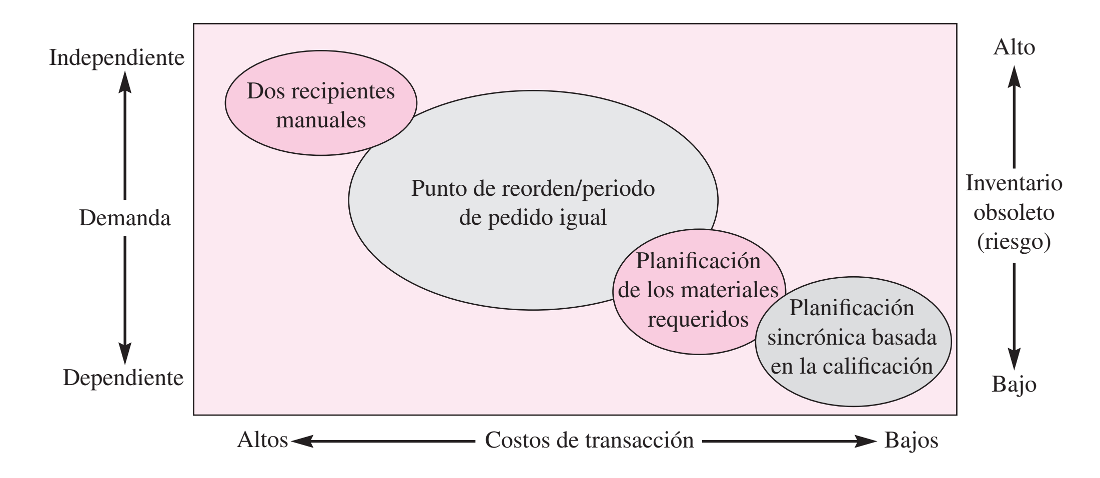
Demanda independiente y dependiente

En el manejo del inventario es importante entender las concesiones que implican distintos tipos de lógica de control de inventarios. La ilustración 17.2 es un marco de trabajo que muestra la forma en que las características de la demanda, el costo de las transacciones y el riesgo de un inventario obsoleto afectan los distintos sistemas. En este capítulo se describen los sistemas en la esquina superior izquierda de la ilustración, y los de la esquina inferior derecha, en el capítulo 18.

El costo de las transacciones depende de los niveles de integración y automatización incorporados en un sistema. Los sistemas manuales, como la lógica sencilla, dependen de la participación del ser humano en la reposición de inventarios, relativamente costosa en comparación con una computadora que detecte automáticamente el momento necesario para pedir una pieza. La integración se relaciona con la conexión entre los sistemas. Por ejemplo, es común que los pedidos de material se transfieran de manera automática y electrónica a los proveedores y que el sistema de control de inventarios del proveedor capture estos pedidos también en forma automática. Este tipo de integración reduce en gran medida el costo de las transacciones.

El riesgo de obsolescencia también es una consideración importante. Si una pieza se usa con poca frecuencia o solo para un propósito específico, existe un riesgo considerable al utilizar la lógica de control de inventarios de que no registre la fuente específica de su demanda. Además, es necesario manejar con cuidado las piezas sensibles a la obsolescencia tecnológica, como los módulos de memoria y procesadores para computadora, con base en la necesidad real de reducir el riesgo de quedarse con un inventario atrasado.

ILUSTRACIÓN 17.2
Matriz de diseño del sistema de control de inventarios. Marco que describe la lógica del control de inventarios.



Una característica importante de la demanda depende de que provenga de una pieza final o de la pieza misma. Con los términos **demanda independiente y dependiente** se describe esta característica. En pocas palabras, es la diferencia entre la demanda independiente y dependiente. En la demanda independiente, las demandas de varias piezas no guardan relación entre sí. Por ejemplo, es probable que un centro de trabajo produzca muchas piezas que no se relacionen pero que cubran alguna necesidad de la demanda externa. En la demanda dependiente, la necesidad de cualquier pieza es un resultado directo de la necesidad de otra, casi siempre un artículo de nivel superior del que forma parte.

Demanda independiente y dependiente

En teoría, la demanda dependiente es un problema de cálculo relativamente sencillo. Basta calcular las cantidades necesarias de una pieza de demanda dependiente a partir del número necesario en cada artículo de nivel superior del que forma parte. Por ejemplo, si una compañía automotriz tiene pensado producir 500 automóviles al día, es obvio que va a necesitar 2 000 rines y llantas (además de las llantas de refacción). El número de rines y llantas que requiere *depende* de los niveles de producción y no se obtiene por separado. Por otra parte, la demanda de automóviles es *independiente*; proviene de varias fuentes externas a la empresa automotriz y no forma parte de otros productos; no tiene nada que ver con la demanda de otros productos.

Para determinar las cantidades de piezas independientes que es necesario producir, las empresas casi siempre recurren a sus departamentos de ventas e investigación de mercados. Utilizan gran variedad de técnicas, como encuestas a clientes, técnicas de pronóstico, y tendencias económicas y sociológicas, como se vio en el capítulo 11 sobre pronósticos. Como la demanda independiente es incierta, es necesario manejar unidades adicionales en el inventario. Este capítulo presenta modelos para determinar cuántas unidades es necesario pedir y cuántas unidades adicionales se deben manejar para reducir el riesgo de faltantes.

Sistemas de inventarios

Un sistema de inventario proporciona la estructura organizacional y las políticas operativas para mantener y controlar los bienes en existencia. El sistema es responsable de pedir y recibir los bienes: establecer el momento de hacer los pedidos y llevar un registro de lo que se pidió, la cantidad ordenada y a quién. El sistema también debe realizar un seguimiento para responder preguntas como: ¿El proveedor recibió el pedido? ¿Ya se envió? ¿Las fechas son correctas? ¿Se establecieron los procedimientos para volver a pedir o devolver la mercancía defectuosa?

En esta sección los sistemas se dividen en sistemas de un periodo y de periodos múltiples. La clasificación se basa en decisiones de compra única diseñada para cubrir un periodo fijo y la pieza no se va a volver a pedir, y decisiones de adquirir una pieza en forma periódica y es necesario mantener un inventario para utilizarla según la demanda. Primero se estudia el modelo de decisión de compra e inventario de periodo único.

Tutorial: Inventario

Modelo de inventario de periodo único

Sin duda, un ejemplo fácil es el problema clásico del "voceador". Considere el problema de un voceador al decidir cuántos periódicos exhibir cada mañana en su quiosco a las afueras del vestíbulo de un hotel. Si esta persona no coloca los suficientes periódicos en el puesto, algunos clientes no podrán comprar el diario y el voceador perderá las ganancias relacionadas con esas ventas. Por otra parte, si coloca demasiados periódicos, el voceador tendrá que pagar los que no se vendan, lo que reduce sus ganancias de la jornada.

Servicio

En realidad, este tipo de problema es muy común. Considere la persona que vende playeras de un juego de campeonato de basquetbol o fútbol. Es una situación muy complicada, pues la persona debe esperar hasta saber qué equipos van a jugar. Luego imprime en las camisetas los logotipos de los equipos apropiados. Desde luego, el vendedor debe calcular cuántas personas van a querer las playeras. Es probable que las camisetas que venda antes del partido alcancen un precio más alto, mientras que tendrá que ofrecer un descuento importante para las que queden después del juego.

Una forma sencilla de pensar en esta situación es considerar el riesgo que una persona está dispuesta a correr de que el inventario se agote. Suponga que el voceador que vende periódicos en el puesto recopiló información durante algunos meses y se dio cuenta de que, en promedio, cada lunes se venden 90 periódicos con una desviación estándar de 10 (desde luego, esto supone que los periódicos nunca se agotaron). Con estos datos, el voceador puede establecer un índice de servicio aceptable. Por ejemplo, quizás el voceador quiera estar 80% seguro de que no se va a quedar sin periódicos los lunes.

Si recuerda sus estudios de estadística y supone que la distribución de probabilidad relacionada con la venta de periódicos es normal, y si coloca exactamente 90 periódicos todos los lunes por la mañana, el riesgo de que se agoten sería de 50%, pues 50% del tiempo se espera que la demanda sea menor de 90 periódicos y el otro 50% del tiempo se espera que la demanda sea mayor de 90. Para estar 80% seguros de que el inventario no se va a agotar, se tienen que manejar algunos periódicos adicionales. En la tabla de la "distribución normal estándar acumulada" del apéndice G, se ve que se necesitan más o menos 0.85 desviaciones estándar de periódicos adicionales para tener la seguridad de que no se van a agotar. Una forma rápida de encontrar el número exacto de desviaciones estándar necesarias para una probabilidad de que se agoten es con la función NORMSINV (probabilidad) en Microsoft Excel (NORMSINV(0.8) = 0.84162). Por el resultado obtenido en Excel, más preciso que el que arrojan las tablas, la cantidad adicional de periódicos sería 0.84162 × 10 = 8.416, o 9 periódicos (¡no hay forma de vender 0.4 periódicos!).

Para que este modelo sea más útil, sería bueno considerar las ganancias y pérdidas potenciales por almacenar demasiados o muy pocos periódicos en el puesto. Digamos que el voceador paga \$0.20 por cada periódico y lo vende a \$0.50. En este caso, el costo marginal de subestimar la demanda es de \$0.30, la ganancia perdida. De igual modo, el costo marginal de sobrestimar la demanda es de \$0.20, el costo de comprar demasiados periódicos. El nivel de inventario óptimo, mediante análisis marginal, ocurre en el punto en que los beneficios esperados por manejar la siguiente unidad son menores que los costos esperados para esa unidad. Tenga presente que los beneficios y costos específicos dependen del problema.

En términos simbólicos se define

C_o = Costo por unidad de la demanda sobrestimada
C_u = Costo por unidad de la demanda subestimada

Con la introducción de probabilidades, la ecuación del costo marginal esperado se convierte en

$$P(C_o) \leq (1 - P)C_u$$

donde P es la probabilidad de que la unidad no se venda y $1 - P$ es la probabilidad de que sí se venda, porque debe ocurrir una u otra cosa (la unidad se vende o no).[1]

Entonces, al despejar P se obtiene

$$P \leq \frac{C_u}{C_o + C_u} \quad \textbf{(17.1)}$$

Esta ecuación establece que se debe mantener el aumento del tamaño del pedido siempre y cuando la probabilidad de no vender lo que se pide sea igual o menor que la razón $C_u/(C_o + C_u)$.

De regreso al problema del periódico, el costo por sobrestimar la demanda (C_o) es de \$0.20 por periódico, y el costo por subestimarla (C_u), de \$0.30. Por tanto, la probabilidad es 0.3/(0.2 + 0.3) = 0.6. Ahora se necesita encontrar el punto en la distribución de la demanda que corresponde a la probabilidad acumulada de 0.6. Con la función NORMSINV para obtener el número de desviaciones estándar (más conocido como calificación Z) de periódicos adicionales por manejar, se obtiene 0.253, que significa que hay que tener en existencia 0.253(10) = 2.53 o 3 periódicos más. Por tanto, el número total de periódicos para el puesto cada lunes por la mañana debe ser de 93 periódicos.

Este modelo es muy útil y, como se verá en el problema resuelto, incluso sirve para muchos problemas del sector servicios, como la cantidad de asientos por reservar en un vuelo o la de reservaciones para una noche en un hotel.

[1] En realidad, P es una probabilidad acumulada porque la venta de la enésima unidad depende no solo de que la demanda sea de n, sino también de la demanda de cualquier número mayor que n.

EJEMPLO 17.1: Reservaciones de hotel

Paso por paso

Un hotel cerca de una universidad siempre se llena la noche anterior a los juegos de fútbol. Los antecedentes demuestran que, cuando un hotel está totalmente reservado, el número de cancelaciones de último momento tiene una media de 5 y una desviación estándar de 3. La tarifa por habitación promedio es de $80. Cuando el hotel tiene un exceso de reservaciones y se presenta un cliente con reservación, la política es buscarle una habitación en un hotel cercano y pagar la habitación. Por lo general, esto le cuesta al hotel más o menos $200, pues las habitaciones contratadas de último momento son costosas. ¿Cuántas habitaciones debe reservar en exceso el hotel?

Servicio

Solución

El costo de subestimar el número de cancelaciones es de $80, y el de sobrestimarlas, de $200.

$$P \leq \frac{C_u}{C_o + C_u} = \frac{\$80}{\$200 + \$80} = 0.2857$$

Con NORMSINV(.2857) de Excel se obtiene una calificación Z de −0.56599. El valor negativo indica que hay que reservar un valor menor al promedio de 5. El valor real debe ser −0.56599(3) = 1.69797, o 2 reservaciones menos que 5. El hotel debe hacer tres reservaciones adicionales la noche anterior a un juego de fútbol.

Otro método común para analizar este tipo de problema es con una distribución de probabilidad discreta proveniente de los datos reales y el análisis marginal. Para el hotel, considere que se recopiló información y que la distribución de los clientes que no llegaron es la siguiente:

Cantidad de cancelaciones	Probabilidad	Probabilidad acumulada
0	0.05	0.05
1	0.08	0.13
2	0.10	0.23
3	0.15	0.38
4	0.20	0.58
5	0.15	0.73
6	0.11	0.84
7	0.06	0.90
8	0.05	0.95
9	0.04	0.99
10	0.01	1.00

Con estos datos se crea una tabla que muestra el impacto de las reservaciones adicionales. Después se calcula el costo total esperado de cada opción de reservación adicional al multiplicar cada resultado posible por su probabilidad y sumar los costos ponderados. La mejor estrategia para las reservaciones adicionales es la que tenga el costo mínimo.

Excel: Control de inventarios

Cancela-	Probabi-	Cantidad de reservaciones adicionales										
ciones	lidad	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0.05	0	200	400	600	800	1 000	1 200	1 400	1 600	1 800	2 000
1	0.08	80	0	200	400	600	800	1 000	1 200	1 400	1 600	1 800
2	0.1	160	80	0	200	400	600	800	1 000	1 200	1 400	1 600
3	0.15	240	160	80	0	200	400	600	800	1 000	1 200	1 400
4	0.2	320	240	160	80	0	200	400	600	800	1 000	1 200
5	0.15	400	320	240	160	80	0	200	400	600	800	1 000
6	0.11	480	400	320	240	160	80	0	200	400	600	800
7	0.06	560	480	400	320	240	160	80	0	200	400	600
8	0.05	640	560	480	400	320	240	160	80	0	200	400
9	0.04	720	640	560	480	400	320	240	160	80	0	200
10	0.01	800	720	640	560	480	400	320	240	160	80	0
Costo total		337.6	271.6	228	212.4	238.8	321.2	445.6	600.8	772.8	958.8	1 156

Según la tabla, el costo total mínimo es cuando se toman tres reservaciones adicionales. Este enfoque de probabilidad discreta es útil cuando se cuenta con información histórica válida. ●

Los modelos de inventario de periodo único son útiles para gran variedad de aplicaciones de servicios y manufactura. Considere lo siguiente:

Servicio

1. **Reservaciones adicionales para vuelos.** Es común que los clientes cancelen las reservaciones de un vuelo por diversas razones. En este caso, el costo de subestimar el número de cancelaciones es una pérdida de ganancias debida a un asiento vacío en un vuelo. El costo de sobrestimar las cancelaciones es la compensación con vuelos gratis o pagos en efectivo a los clientes cuando no pueden abordar el avión.
2. **Pedidos de artículos de moda.** Un problema para un minorista que vende artículos de moda es que a menudo solo es posible hacer un pedido para toda la temporada. Esto se debe con frecuencia a los extensos tiempos de entrega y la vida limitada de la mercancía. El costo de subestimar la demanda es la ganancia perdida debido a las ventas no realizadas. El costo de sobrestimar la demanda es el costo que resulta cuando se vende con descuento.
3. **Todo tipo de pedido único.** Dos ejemplos son pedir camisetas para un acto deportivo e imprimir mapas que se vuelven obsoletos después de cierto tiempo.

SISTEMAS DE INVENTARIO DE VARIOS PERIODOS

Modelos de cantidad de pedido fija (modelo Q)
Modelos de periodo fijo (modelo P)

Hay dos tipos generales de sistemas de inventario de varios periodos: los **modelos de cantidad de pedido fija** (también llamado *cantidad de pedido económico*, EOQ, y **modelo Q**) y **modelos de periodo fijo** (conocidos también como *sistema periódico*, *sistema de revisión periódica*, *sistema de intervalo fijo* y **modelo P**). Los sistemas de inventario de varios periodos están diseñados para garantizar la disponibilidad de una pieza todo el año. Por lo general, la pieza se pide varias veces en el año; la lógica del sistema indica la cantidad real pedida y el momento del pedido.

La distinción fundamental es que los modelos de cantidad de pedido fija se basan en sucesos, y los modelos de periodo fijo, en el tiempo. Es decir, un modelo de cantidad de pedido fija inicia un pedido cuando ocurre el acto de llegar a un nivel específico en el que es necesario volver a hacer un pedido. Este acontecimiento puede presentarse en cualquier momento, según la demanda de las piezas consideradas. En cambio, el modelo de periodo fijo se limita a hacer pedidos al final de un periodo determinado; el modelo se basa solo en el paso del tiempo.

Para aplicar el modelo de cantidad de pedido fija (que hace un pedido cuando el inventario restante baja a un punto predeterminado, R) es necesario vigilar continuamente el inventario restante. Por tanto, el modelo de cantidad de pedido fija es un sistema *perpetuo*, que requiere que, cada vez que se retire o añada algo al inventario, se actualicen los registros para que reflejen si se llegó al punto en que es necesario pedir de nuevo. En un modelo de periodo fijo, el conteo se lleva a cabo solo en el periodo de revisión (veremos algunas variaciones de los sistemas que combinan características de ambos).

Algunas diferencias adicionales tienden a influir en la elección de los sistemas (vea también la ilustración 17.3):

Tutorial: Inventario

- El modelo de periodo fijo tiene un inventario promedio más numeroso porque también debe ofrecer una protección contra faltantes durante el periodo de revisión, T; el modelo de cantidad de pedido fija no tiene periodo de revisión.
- El modelo de cantidad de pedido fija favorece las piezas más caras porque el inventario promedio es más bajo.
- El modelo de cantidad de pedido fija es más apropiado para las piezas importantes o indispensables, pues hay una supervisión más estrecha y por tanto una respuesta más rápida ante la posibilidad de carecer de unidades.
- El modelo de cantidad de pedido fija requiere más tiempo para su mantenimiento porque se registra cada adición y cada retiro.

La ilustración 17.4 muestra lo que ocurre con cada modelo y se convierte en un sistema operativo. Como se ve, el sistema de cantidad de pedido fija se enfoca en las cantidades de pedi-

Característica	*Modelo Q* Modelo de cantidad de pedido fija	*Modelo P* Modelo de periodo fijo
Cantidad del pedido	Q, constante (siempre se pide la misma cantidad)	q, variable (varía cada vez que se hace un pedido)
Dónde hacerlo	R, cuando la posición del inventario baja al nivel de volver a pedir	T, cuando llega el periodo de revisión
Registros	Cada vez que se realiza un retiro o una adición	Solo se cuenta en el periodo de revisión
Tamaño del inventario	Menos que el modelo de periodo fijo	Más grande que el modelo de cantidad de pedido fija
Tiempo para mantenerlo	Más alto debido a los registros perpetuos	
Tipo de pieza	Piezas de precio más alto, críticos o importantes	

ILUSTRACIÓN 17.3
Diferencias entre cantidad de pedido fija y periodo fijo.

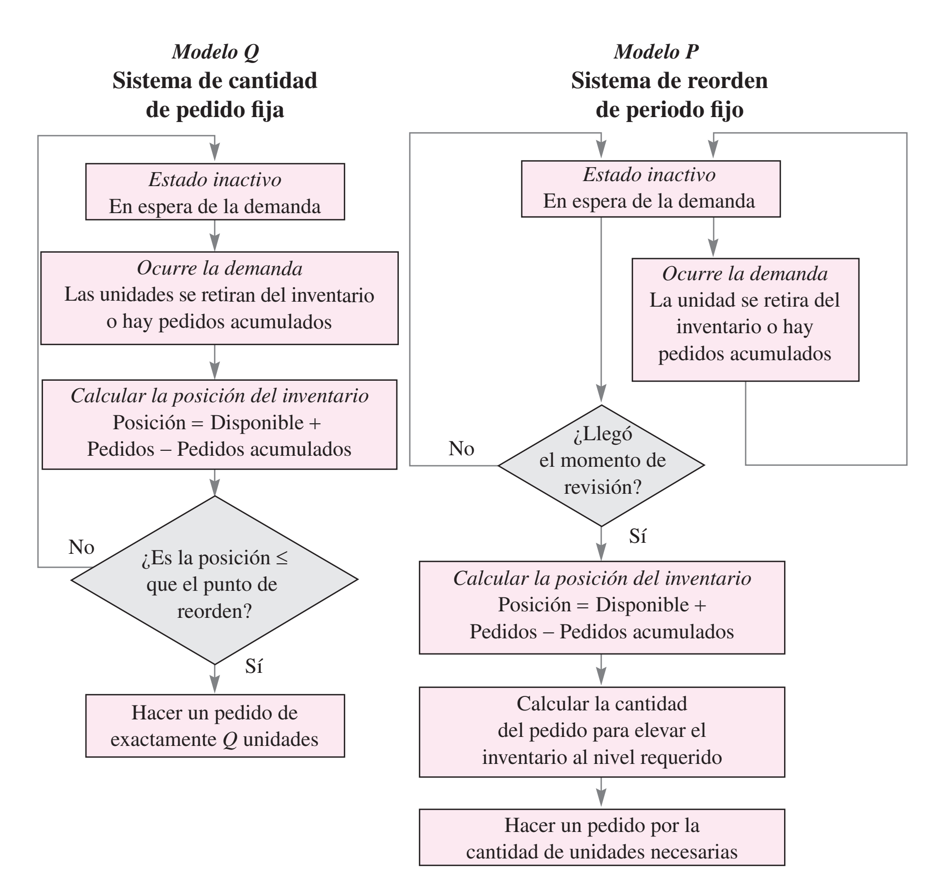


ILUSTRACIÓN 17.4
Comparación de los sistemas de inventario de cantidad de pedido fija y periodo fijo.

dos y los momentos en que es necesario pedir de nuevo. En cuanto al procedimiento, cada vez que se toma una unidad del inventario se registra el retiro y la cantidad restante se compara de inmediato con el punto de volver a hacer un pedido. Si está por debajo de este punto se piden Q piezas. De lo contrario, el sistema permanece en estado inactivo hasta el siguiente retiro.

En el sistema de periodo fijo se decide hacer un pedido después de contar o revisar el inventario. El hecho de hacer un pedido o no depende de la posición del inventario en ese momento.

Modelos de cantidad de pedido fija

Los modelos de cantidad de pedido fija pretenden determinar el punto específico R en que se hará un pedido, así como su tamaño Q. El punto de pedido R siempre es un número específico de unidades. Se hace un pedido de tamaño Q cuando el inventario disponible (en existencia o en

Posición del inventario

pedido) llega al punto *R*. La **posición del inventario** se define como la cantidad disponible más la pedida menos los pedidos acumulados. La solución para un modelo de cantidad de pedido fija puede estipular algo así: cuando la posición del inventario baje a 36, hacer un pedido de 57 unidades más.

Los modelos más sencillos en esta categoría ocurren cuando se conocen con certeza todos los aspectos de la situación. Si la demanda anual de un producto es de 1 000 unidades, es precisamente 1 000, no 1 000 más o menos 10%. Lo mismo sucede con los costos de preparación y mantenimiento. Si bien la suposición de una certeza total rara vez es válida, ofrece una base adecuada para la cobertura de los modelos de inventario.

La ilustración 17.5 y el análisis para obtener la cantidad de pedido óptima se basan en las siguientes características del modelo. Estas suposiciones son irreales, pero son un punto de partida y permiten usar un ejemplo sencillo.

- La demanda del producto es constante y uniforme durante todo el periodo.
- El tiempo de entrega (tiempo para recibir el pedido) es constante.
- El precio por unidad del producto es constante.
- El costo por mantener el inventario se basa en el inventario promedio.
- Los costos de pedido o preparación son constantes.
- Se van a cubrir todas las demandas del producto (no se permiten pedidos acumulados).

El "efecto sierra" relacionado con *Q* y *R* en la ilustración 17.5 muestra que cuando la posición del inventario baja al punto *R*, se vuelve a hacer un pedido. Este pedido se recibe al final del periodo *L*, que no varía en este modelo.

Al elaborar cualquier modelo de inventario, el primer paso consiste en desarrollar una relación funcional entre las variables de interés y la medida de eficacia. En este caso, como preocupa el costo, la ecuación siguiente es apropiada:

$$\text{Costo anual total} = \text{Costo de compra anual} + \text{Costo de pedidos anual} + \text{Costo de mantenimiento anual}$$

o

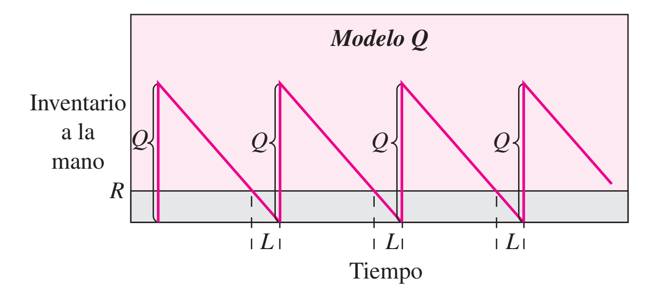
$$TC = DC + \frac{D}{Q}S + \frac{Q}{2}H \qquad \textbf{(17.2)}$$

donde

TC = Costo anual total
D = Demanda (anual)
C = Costo por unidad
Q = Cantidad por pedir (la cantidad óptima se conoce como *cantidad de pedido económica*, EOQ, o $Q_{\text{ópt}}$)
S = Costo de preparación o costo de hacer un pedido
H = Costo anual de mantenimiento y almacenamiento por unidad de inventario promedio (a menudo, el costo de mantenimiento se toma como porcentaje del costo de la pieza, como $H = iC$, donde i es el porcentaje del costo de manejo)

Excel: Control de inventarios

ILUSTRACIÓN 17.5
Modelo básico de cantidad de pedido fijo.



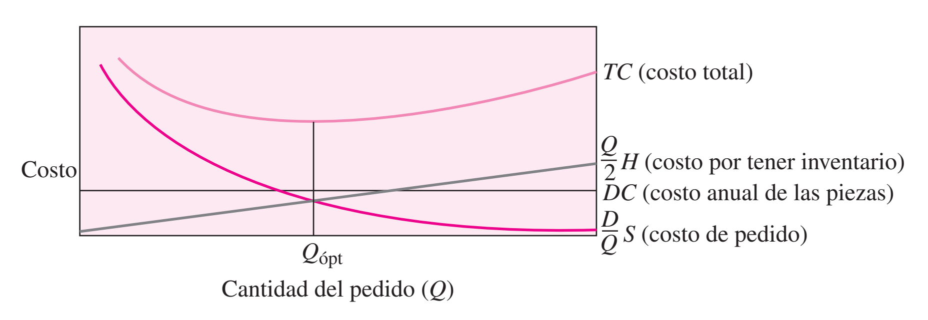


ILUSTRACIÓN 17.6
Costos anuales del producto con base en el tamaño del pedido.

Excel: Control de inventarios

Del lado derecho de la ecuación, DC es el costo de compra anual para las unidades, $(D/Q)S$ es el costo de pedido anual (el número real de pedidos hechos, D/Q, por el costo de cada pedido, S) y $(Q/2)H$ es el costo de mantenimiento anual (el inventario promedio, $Q/2$, por el costo de mantenimiento y almacenamiento de cada unidad, H). Estas relaciones entre costos se muestran en una gráfica en la ilustración 17.6.

El segundo paso en el desarrollo de modelos consiste en encontrar la cantidad de pedidos $Q_{\text{ópt}}$ en la que el costo total sea el mínimo. En la ilustración 17.5, el costo total es mínimo en el punto en el que la pendiente de la curva es cero. Mediante cálculo se toma la derivada del costo total respecto de Q y se iguala a cero. Para el modelo básico que aquí se estudia, los cálculos son

$$TC = DC + \frac{D}{Q}S + \frac{Q}{2}H$$

$$\frac{dTC}{dQ} = 0 + \left(\frac{-DS}{Q^2}\right) + \frac{H}{2} = 0$$

$$Q_{\text{ópt}} = \sqrt{\frac{2DS}{H}} \qquad \textbf{(17.3)}$$

Como este modelo sencillo supone una demanda y un tiempo de entrega constantes, no es necesario tener inventario de seguridad, y el punto de reorden, R, simplemente es

$$R = \bar{d}L \qquad \textbf{(17.4)}$$

donde

$\bar{d}$ = Demanda diaria promedio (constante)

L = Tiempo de entrega en días (constante)

EJEMPLO 17.2: Cantidad económica de pedidos y punto de reorden

Encuentre la cantidad económica de pedidos y el punto de reorden, dados

Demanda anual (D)	= 1 000 unidades
Demanda diaria promedio ($\bar{d}$)	= 1 000/365
Costo de pedido (S)	= 5 dólares por pedido
Costo de mantenimiento (H)	= 1.25 dólares por unidad al año
Tiempo de entrega (L)	= 5 días
Costo por unidad (C)	= 12.50 dólares

¿Qué cantidad es necesario pedir?

Paso por paso

Excel: Control de inventarios

Solución

La cantidad de pedido óptima es

$$Q_{\text{ópt}} = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(1\,000)5}{1.25}} = \sqrt{8\,000} = 89.4 \text{ unidades}$$

El punto de reorden es

$$R = \bar{d}L = \frac{1\,000}{365}(5) = 13.7 \text{ unidades}$$

Se redondea a la unidad más próxima y la política de inventario es la siguiente: cuando la posición del inventario baja a 14 se debe hacer un pedido de 89 piezas más.

El costo anual total será

$$TC = DC + \frac{D}{Q}S + \frac{Q}{2}H$$

$$= 1\,000(12.50) + \frac{1\,000}{89}(5) + \frac{89}{2}(1.25)$$

$$= \$12\,611.81$$

Observe que en este ejemplo no es necesario el costo de compra de las unidades para determinar la cantidad del pedido ni el punto de reorden, porque el costo es constante y no se relaciona con el tamaño del pedido. ●

Establecimiento de inventarios de seguridad

Inventario de seguridad

El modelo anterior supone que la demanda es constante y conocida. Sin embargo, en la mayor parte de los casos, la demanda no es constante, sino que varía de un día para otro. Por tanto, es necesario mantener inventarios de seguridad para ofrecer cierto nivel de protección contra el agotamiento de existencias. El **inventario de seguridad** se define como las existencias que se manejan además de la demanda esperada. En una distribución normal, esta sería la media. Por ejemplo, si la demanda mensual promedio es de 100 unidades y se espera que el próximo mes sea igual, si se manejan 120 unidades se tienen 20 unidades de inventario de seguridad.

El inventario de seguridad se determina con base en diversos criterios. Un enfoque común es que una empresa establezca el almacenamiento de cierto número de semanas de suministros en el inventario. Sin embargo, es mejor utilizar un enfoque que capte la variabilidad en la demanda. Por ejemplo, un objetivo puede ser algo así como "establecer el nivel de inventario de seguridad de modo que solo haya 5% de probabilidad de que las existencias se agoten en caso de que la demanda exceda 300 unidades". A este enfoque de establecer los inventarios de seguridad se le conoce como enfoque de probabilidad.

Netflix es el servicio más grande del mundo de renta de películas en línea. Cuenta con más de 100 000 títulos de DVD, más una creciente biblioteca de más de 12 000 películas disponibles para ver al instante en PC o Mac. En promedio, Netflix envía 1.9 millones de DVD diarios a clientes desde 58 centros de distribución.

Enfoque de probabilidad Es muy fácil determinar los inventarios de seguridad con el criterio de probabilidad. Con los modelos descritos en este capítulo se supone que la demanda en un periodo tiene una distribución normal con una media y una desviación estándar. *De nuevo, recuerde que este enfoque solo considera la probabilidad de quedarse sin inventario, no la cantidad de unidades faltantes*. Para determinar la probabilidad de un faltante durante el periodo basta trazar una distribución normal para la demanda esperada y observar el lugar de la curva en que cae la cantidad disponible.

A continuación se presentan ejemplos sencillos para ilustrar lo anterior. Suponga que se espera que la demanda sea de 100 unidades durante el próximo mes y se sabe que la desviación estándar es de 20 unidades. Si se empieza el mes con solo 100 unidades, se sabe que la probabilidad de faltantes es de 50%. La mitad de los meses se espera que la demanda sea mayor de 100 unidades; la mitad de los meses se espera que sea menor de 100 unidades. Con esto en cuenta, si se pide la cantidad de inventario suficiente para un mes y se recibe a principios de ese mes, a la larga se acabaría el inventario en seis meses del año.

Si no es aceptable quedarse sin unidades, seguramente se va a preferir manejar un inventario adicional para reducir el riesgo de que se agote. Una idea puede ser manejar 20 unidades adicionales. En este caso se pediría la cantidad necesaria para un mes pero se programaría la llegada cuando todavía se tuviesen 20 unidades en el inventario. Esto

daría inventarios de seguridad para reducir la probabilidad de que se agoten las existencias. Si la desviación estándar asociada a la demanda es de 20 unidades, entonces se manejan inventarios de seguridad que equivalen a una desviación estándar. Al revisar la distribución normal estándar acumulada (apéndice G) y desplazar una desviación estándar hacia la derecha de la media se obtiene una probabilidad de 0.8413. De modo que más o menos 84% del tiempo no se espera que se agoten las existencias y 16% del tiempo, sí. Ahora que, si se pide cada mes, cabe esperar que el inventario se agote aproximadamente dos meses al año (0.16 × 12 = 1.92). Para quienes utilizan Excel, dado un valor *z*, la probabilidad se obtiene con la función NORMSDIST.

Es común que las compañías utilicen este enfoque para establecer en 95% la probabilidad de que el inventario no se agote. Esto implica manejar alrededor de 1.64 desviaciones estándar de los inventarios de seguridad, o 33 unidades (1.64 × 20 = 32.8) para el ejemplo. Una vez más, recuerde que esto no quiere decir que se van a pedir 33 unidades adicionales cada mes, sino que se pueden pedir las unidades correspondientes a un mes en cada ocasión, pero programar su recepción de modo que se tengan 33 unidades en el inventario en el momento en que llegue el pedido. En este caso se espera que el inventario se agote cada 0.6 meses al año, o que ocurra un mes de cada 20 meses.

MODELO DE CANTIDAD DE PEDIDO FIJA CON INVENTARIOS DE SEGURIDAD

Un sistema de cantidad de pedido fija vigila en forma constante el nivel del inventario y hace un pedido nuevo cuando las existencias alcanzan cierto nivel *R*. El peligro de tener faltantes en ese modelo ocurre solo durante el tiempo de entrega, entre el momento de hacer un pedido y su recepción. Como muestra la ilustración 17.7 se hace un pedido cuando la posición del inventario baja al punto de reorden *R*. Durante este tiempo de entrega *L* es posible que haya gran variedad de demandas. Esta variedad se determina a partir de un análisis de los datos sobre la demanda pasada o de un estimado (en caso de no contar con información sobre el pasado).

El inventario de seguridad depende del nivel de servicio deseado, como ya se vio. La cantidad que se va a pedir *Q* se calcula de manera normal considerando la demanda, costo de faltantes, costo de pedido, costo de mantenimiento, etc. *Q* se calcula mediante un modelo de cantidad de pedido fija, como el modelo simple $Q_{\text{ópt}}$ que ya se estudió. Entonces se establece el punto de volver a pedir para cubrir la demanda esperada durante el tiempo de entrega más el inventario de seguridad determinados por el nivel de servicio deseado. Así, *la diferencia básica entre un modelo de cantidad de pedido fija en el que se conoce la demanda y otro en el que la demanda es incierta radica en el cálculo del punto de reorden. La cantidad del pedido es la misma en ambos casos.* En los inventarios de seguridad se toma en cuenta el elemento de la incertidumbre.

El punto de reorden es

$$R = \bar{d}L + z\sigma_L \qquad \textbf{(17.5)}$$

donde

R = Punto de reorden en unidades
$\bar{d}$ = Demanda diaria promedio
L = Tiempo de entrega en días (tiempo transcurrido entre hacer y recibir el pedido)

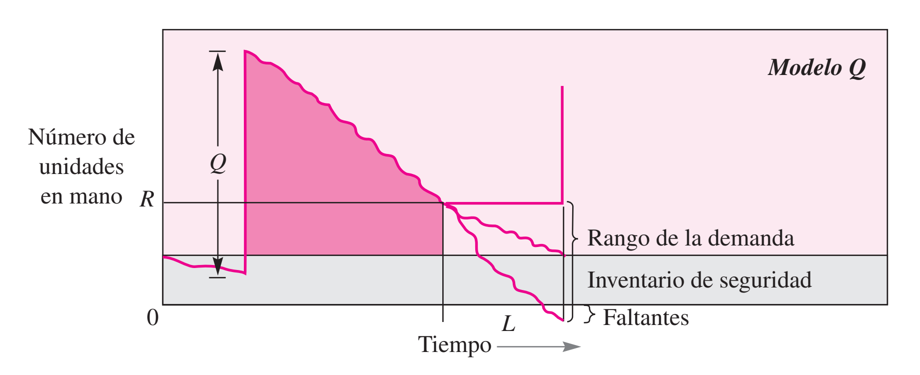


ILUSTRACIÓN 17.7
Modelo de cantidad de pedido fija.

z = Número de desviaciones estándar para una probabilidad de servicio específica
σ_L = Desviación estándar del uso durante el tiempo de entrega

El término $z\sigma_L$ es el inventario de seguridad. Observe que si estas existencias son positivas, el efecto es volver a pedir más pronto. Es decir, R sin inventario de seguridad no es más que la demanda promedio durante el tiempo de entrega. Si se espera que el uso en el tiempo de entrega sea de 20, por ejemplo, y se calcula que el inventario de seguridad será de cinco unidades, el pedido se hará más pronto, cuando queden 25 unidades. Mientras más extenso sea el inventario de seguridad, más pronto se hará el pedido.

Cálculo de $\bar{d}$, σ_L y z La demanda durante el tiempo de reemplazo es en realidad un estimado o un pronóstico del uso esperado del inventario desde el momento de hacer un pedido hasta el momento en que se recibe. Puede ser una cantidad única (por ejemplo, si el tiempo de entrega es de un mes, la demanda se puede tomar como la demanda del año anterior dividida entre 12) o la suma de las demandas esperadas durante el tiempo de entrega (como la suma de las demandas diarias durante un tiempo de entrega de 30 días). Para la situación de la demanda diaria, d puede ser la demanda pronosticada mediante cualquiera de los modelos del capítulo 15 sobre pronósticos. Por ejemplo, si d se calculó con un periodo de 30 días, un promedio simple sería

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^{n} d_i}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{30} d_i}{30} \quad \textbf{(17.6)}$$

donde n es el número de días.

La desviación estándar de la demanda diaria es

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (d_i - \bar{d})^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{30} (d_i - \bar{d})^2}{30}} \quad \textbf{(17.7)}$$

Como σ_d se refiere a un día, si el tiempo de entrega se extiende varios días, cabe la premisa estadística de que la desviación estándar de una serie de sucesos independientes es igual a la raíz cuadrada de la suma de las varianzas. Es decir, en general,

$$\sigma_L = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \cdots + \sigma_L^2} \quad \textbf{(17.8)}$$

Por ejemplo, suponga que se calcula que la desviación estándar de la demanda es 10 unidades al día. Si el tiempo de entrega de un pedido es de cinco días, la desviación estándar para el periodo de cinco días, si se considera independiente cada día, es

$$\sigma_5 = \sqrt{(10)^2 + (10)^2 + (10)^2 + (10)^2 + (10)^2} = 22.36$$

A continuación es necesario encontrar z, el número de desviaciones estándar del inventario de seguridad.

Suponga que se desea que la probabilidad de que el inventario no se agote durante el tiempo de entrega sea 0.95. El valor z asociado a una probabilidad de 95% es 1.64 (vea el apéndice G o utilice la función NORMSINV de Excel). Con lo anterior, el inventario de seguridad se calcula como sigue:

$$SS = z\sigma_L = 1.64 \times 22.36 = 36.67 \quad \textbf{(17.9)}$$

Compare ahora los dos ejemplos. La diferencia entre ellos es que en el primero la variación en la demanda se expresa en términos de la desviación estándar durante todo el tiempo de entrega, mientras que en el segundo se expresa en términos de la desviación estándar por día.

EJEMPLO 17.3: Punto de reorden

Considere un caso de cantidad económica de pedido en el que la demanda anual D = 1 000 unidades, cantidad económica de pedido Q = 200 unidades, probabilidad deseada de que el inventario no se agote P = 0.95, desviación estándar de la demanda durante el tiempo de entrega σ_L = 25 unidades y tiempo de entrega L = 15 días. Determine el punto de reorden. Suponga que la demanda es sobre un año de 250 días hábiles.

Paso por paso

Solución

En el ejemplo, $\bar{d} = \frac{1\,000}{250} = 4$ y el tiempo de entrega es de 15 días. Se usa la ecuación

$$R = \bar{d}L + z\sigma_L$$
$$= 4(15) + z(25)$$

En este caso, z es 1.64.

Al completar la solución para R se tiene

$$R = 4(15) + 1.64(25) = 60 + 41 = 101 \text{ unidades}$$

Esto indica que, cuando el inventario disponible baje a 101 unidades, es necesario pedir 200 más. ●

EJEMPLO 17.4: Cantidad de pedido y punto de reorden

La demanda diaria de cierto producto tiene una distribución normal con una media de 60 y una desviación estándar de 7. La fuente de suministro es confiable y mantiene un tiempo de entrega constante de seis días. El costo de hacer el pedido es de $10 y los costos de mantenimiento anuales son de $0.50 por unidad. No hay costos por faltantes y los pedidos no cubiertos se cubren tan pronto como llega el pedido. Suponga que las ventas ocurren durante los 365 días del año. Encuentre la cantidad de pedido y el punto de reorden para satisfacer una probabilidad de 95% de que el inventario no se agote durante el tiempo de entrega.

Paso por paso

Excel: Control de inventarios

Solución

En este problema se necesita calcular la cantidad de pedido Q, así como el punto de reorden R.

$$\bar{d} = 60 \qquad S = \$10$$
$$\sigma_d = 7 \qquad H = \$0.50$$
$$D = 60(365) \qquad L = 6$$

La cantidad de pedido óptima es

$$Q_{\text{ópt}} = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(60)365(10)}{0.50}} = \sqrt{876\,000} = 936 \text{ unidades}$$

Para calcular el punto de reorden es necesario calcular la cantidad de producto utilizada durante el tiempo de entrega y sumarla al inventario de seguridad.

La desviación estándar de la demanda durante el tiempo de entrega de seis días se calcula a partir de la varianza de cada día. Como la demanda de cada día es independiente,[2]

$$\sigma_L = \sqrt{\sum_{i=1}^{L} \sigma_d^2} = \sqrt{6(7)^2} = 17.15$$

Una vez más, z es 1.64.

$$R = \bar{d}L + z\sigma L = 60(6) + 1.64(17.15) = 388 \text{ unidades}$$

Para resumir la política derivada en este ejemplo, se hace un pedido de 936 unidades siempre que el número de unidades restantes en el inventario baje a 388. ●

[2] Como ya se mencionó, la desviación estándar de una suma de variables independientes es igual a la raíz cuadrada de la suma de las varianzas.

Modelos de periodos fijos

En un sistema de periodo fijo, el inventario se cuenta solo en algunos momentos, como cada semana o cada mes. Es recomendable contar el inventario y hacer pedidos en forma periódica en situaciones en que los proveedores hacen visitas de rutina a los clientes y levantan pedidos para toda la línea de productos o cuando los compradores quieren combinar pedidos para ahorrar en costos de transporte. Otras empresas operan con periodos fijos para facilitar la planificación del conteo del inventario; por ejemplo, el Distribuidor X llama cada dos semanas y los empleados saben que es preciso contar todos los productos del Distribuidor X.

Los modelos de periodo fijo generan cantidades de pedidos que varían de un periodo a otro según los índices de uso. Por lo general, para esto es necesario un nivel más alto de inventario de seguridad que en el sistema de cantidad de pedido fija. El sistema de cantidad de pedido fija supone el rastreo continuo del inventario disponible y que se hará un pedido al llegar al punto correspondiente. En cambio, los modelos de periodo fijo estándar suponen que el inventario solo se cuenta en el momento específico de la revisión. Es posible que una demanda alta provoque que el inventario llegue a cero justo después de hacer el pedido. Esta condición pasará inadvertida hasta el siguiente periodo de revisión; además, el nuevo pedido tardará en llegar. Así, es probable que el inventario se agote durante todo el periodo de revisión T y el tiempo de entrega L. Por consiguiente, el inventario de seguridad debe ofrecer una protección contra el agotamiento de existencias en el periodo de revisión mismo, así como durante el tiempo de entrega desde el momento de hacer el pedido hasta recibirlo.

Modelo de periodos fijos con inventario de seguridad

En un sistema de periodo fijo, los pedidos se vuelven a hacer en el momento de la revisión (T), y el inventario de seguridad que es necesario volver a pedir es

$$\text{Inventario de seguridad} = z\sigma_{T+L} \qquad \textbf{(17.10)}$$

La ilustración 17.8 muestra un sistema de periodo fijo con un ciclo de revisión de T y un tiempo de entrega constante de L. En este caso la demanda tiene una distribución aleatoria alrededor de una media d. La cantidad por pedir, q, es

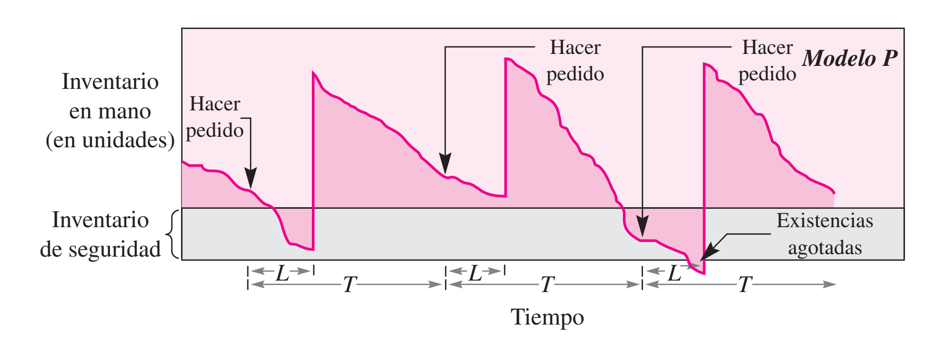
Tutoriales

$$\begin{array}{ccccccccc} \text{Cantidad de pedido} & = & \text{Demanda promedio durante el periodo vulnerable} & + & \text{Inventario de seguridad} & - & \text{Existencias disponibles (más el pedido, en caso de haber alguno)} \\ q & = & \bar{d}(T+L) & + & z\sigma_{T+L} & - & I \end{array} \qquad \textbf{(17.11)}$$

donde

q = Cantidad por pedir
T = Número de días entre revisiones
L = Tiempo de entrega en días (tiempo entre el momento de hacer un pedido y recibirlo)
$\bar{d}$ = Demanda diaria promedio pronosticada
z = Número de desviaciones estándar para una probabilidad de servicio específica
σ_{T+L} = Desviación estándar de la demanda durante el periodo de revisión y entrega
I = Nivel de inventario actual (incluye las piezas pedidas)

ILUSTRACIÓN 17.8
Modelo de inventarios de periodo fijo.



Nota: La demanda, tiempo de entrega, periodo de revisión, etc., pueden estar en cualquier unidad de tiempo, como días, semanas o años, siempre y cuando sean constantes en toda la ecuación.

En este modelo, la demanda ($\bar{d}$) se pronostica y revisa en cada periodo de revisión si así se desea, o puede utilizarse el promedio anual si es apropiado. Se supone que la demanda tiene una distribución normal.

El valor de z depende de la probabilidad de tener faltantes y se determina con el apéndice G o la función NORMSINV de Excel.

EJEMPLO 17.5: Cantidad que se va a pedir

La demanda diaria de un producto es de 10 unidades con una desviación estándar de 3 unidades. El periodo de revisión es de 30 días, y el tiempo de entrega, de 14 días. La gerencia estableció la política de cubrir 98% de la demanda con las existencias. Al principio de este periodo de revisión hay 150 unidades en el inventario.

¿Cuántas unidades se deben pedir?

Paso por paso

Excel: Control de inventarios

Solución

La cantidad por pedir es

$$q = \bar{d}(T + L) + z\sigma_{T+L} - I$$
$$= 10(30 + 14) + z\sigma_{T+L} - 150$$

Antes de completar la solución se necesita encontrar σ_{T+L} y z. Para encontrar σ_{T+L} se parte de la idea, como antes, de que la desviación estándar de una secuencia de variables aleatorias independientes es igual a la raíz cuadrada de la suma de las varianzas. Por tanto, la desviación estándar durante el periodo $T + L$ es la raíz cuadrada de la suma de las varianzas de cada día:

$$\sigma_{T+L} = \sqrt{\sum_{i=1}^{T+L} \sigma_d^2} \qquad \textbf{(17.12)}$$

Como cada día es independiente y σ_d es constante,

$$\sigma_{T+L} = \sqrt{(T + L)\sigma_d^2} = \sqrt{(30 + 14)(3)^2} = 19.90$$

El valor z para $P = 0.98$ es 2.05.

Así, la cantidad por pedir es

$$q = \bar{d}(T + L) + z\sigma_{T+L} - I = 10(30 + 14) + 2.05(19.90) - 150 = 331 \text{ unidades}$$

Para garantizar una probabilidad de 98% de que el inventario no se va a agotar es necesario pedir 331 unidades en este periodo de revisión. ●

Control de inventarios y administración de la cadena de suministro

Es importante que los gerentes se den cuenta de que la forma de manejar las piezas mediante la lógica de control de inventarios se relaciona directamente con el desempeño financiero de la empresa. Una medida clave que tiene que ver con el desempeño de la compañía es la rotación de inventarios. Recuerde que la rotación de inventarios se calcula como sigue:

Cadena de suministro

$$\text{Rotación de inventarios} = \frac{\text{Costo de los bienes vendidos}}{\text{Valor promedio del inventario}}$$

¿Entonces cuál es la relación entre la forma de manejar una pieza y la rotación del inventario para ese artículo? Aquí se simplifican las cosas y se considera solo la rotación del inventario para una pieza individual o un grupo de piezas. Primero, si se toma el numerador, el costo de los bienes vendidos para una pieza individual se relaciona directamente con la demanda anual esperada (D) de la pieza. Dado un costo por unidad (C) de la pieza, el costo de los bienes vendidos es solo

D por C. Recuerde que es igual al que se usó en la ecuación EOQ. Luego se considera el valor promedio del inventario. Recuerde que el inventario promedio en EOQ es $Q/2$, lo que resulta cierto si se supone que la demanda es constante. Al incluir la incertidumbre en la ecuación es necesario tener un inventario de seguridad para manejar el riesgo que surge por la variabilidad en la demanda. El modelo de cantidad de pedido fija y el modelo de periodo fijo tienen ecuaciones para calcular el inventario de seguridad requerido para una probabilidad determinada de que el inventario se agote. En ambos modelos se supone que, al pasar por un ciclo de pedido, la mitad del tiempo se necesita echar mano del inventario de seguridad y la otra mitad no. De modo que, en promedio, se espera que el inventario de seguridad (SS) esté disponible. En vista de lo anterior, el inventario promedio es igual a lo siguiente:

$$\text{Valor promedio del inventario} = (Q/2 + SS)C \tag{17.13}$$

Así, la rotación de inventario para una pieza individual es

$$\text{Rotación de inventario} = \frac{DC}{(Q/2 + SS)C} = \frac{D}{Q/2 + \text{SS}} \tag{17.14}$$

EJEMPLO 17.6: Cálculo del inventario promedio, modelo de cantidad de pedido fija

Paso por paso

Suponga que se maneja la pieza siguiente mediante un modelo de cantidad de pedido fija con inventario de seguridad.

Demanda anual (D) = 1 000 unidades
Cantidad pedida (Q) = 300 unidades
Inventario de seguridad (SS) = 40 unidades

¿Cuál es el nivel de inventario promedio y la rotación de inventario para las piezas?

Solución

$$\text{Inventario promedio} = Q/2 + SS = 300/2 + 40 = 190 \text{ unidades}$$

$$\text{Rotación de inventario} = \frac{D}{Q/2 + SS} = \frac{1\,000}{190} = 5.263 \text{ rotaciones por año.}$$ ●

EJEMPLO 17.7: Cálculo del inventario promedio, modelo de periodo fijo

Paso por paso

Considere la pieza siguiente manejada con un modelo de periodo fijo e inventario de seguridad.

Demanda semanal (d) = 50 unidades
Ciclo de revisión (T) = 3 semanas
Inventario de seguridad (SS) = 30 unidades

¿Cuál es el nivel de inventario promedio y la rotación de inventario para la pieza?

Solución

Aquí se tiene que determinar cuántas unidades se espera pedir en cada ciclo. Si se supone que la demanda es continua, se esperaría pedir la cantidad de unidades de la demanda pronosticada durante el ciclo de revisión. Esta demanda esperada es igual a dT si se supone que no hay tendencia ni estacionalidad en el patrón de la demanda.

$$\text{Inventario promedio} = dT/2 + SS = 50(3)/2 + 30 = 105 \text{ unidades}$$

$$\text{Rotación de inventario} = \frac{52d}{dT/2 + SS} = \frac{50(52)}{105} = 24.8 \text{ rotaciones al año}$$

si se suponen 52 semanas en el año. ●

Modelos de descuento por cantidad

El modelo de descuento por cantidad parte de la premisa de que en general el precio de venta de una pieza varía según el tamaño del pedido. Se trata de un cambio discreto en lugar de unitario. Por ejemplo, los taquetes cuestan $0.02 cada uno en una compra de uno a 99 taquetes, $1.60 por 100 y $13.50 por 1 000. Para determinar la cantidad óptima por pedir de cualquier pieza, solo se tiene que calcular la cantidad de pedido económica por cada precio y en el punto de cambio de precio. Pero no son factibles todas las cantidades de pedido económicas que determina la fórmula. En el ejemplo de los taquetes, la fórmula $Q_{\text{ópt}}$ puede indicar que la decisión óptima en el precio de 1.6 centavos es pedir 75 taquetes. Sin embargo, esto sería imposible porque 75 tornillos costarían 2 centavos cada uno.

En general, para encontrar la cantidad de pedido de menor costo se necesita calcular la cantidad de pedidos económica por cada precio posible y revisar si la cantidad es factible. Es posible que la cantidad de pedido económica calculada sea más alta o más baja que el rango al que corresponde el precio. Toda cantidad factible es una posible candidata. También se necesita calcular el costo por cada cantidad con precio descontado, pues se sabe que ese precio es factible en estos puntos y el costo total puede ser el más bajo en uno de estos valores.

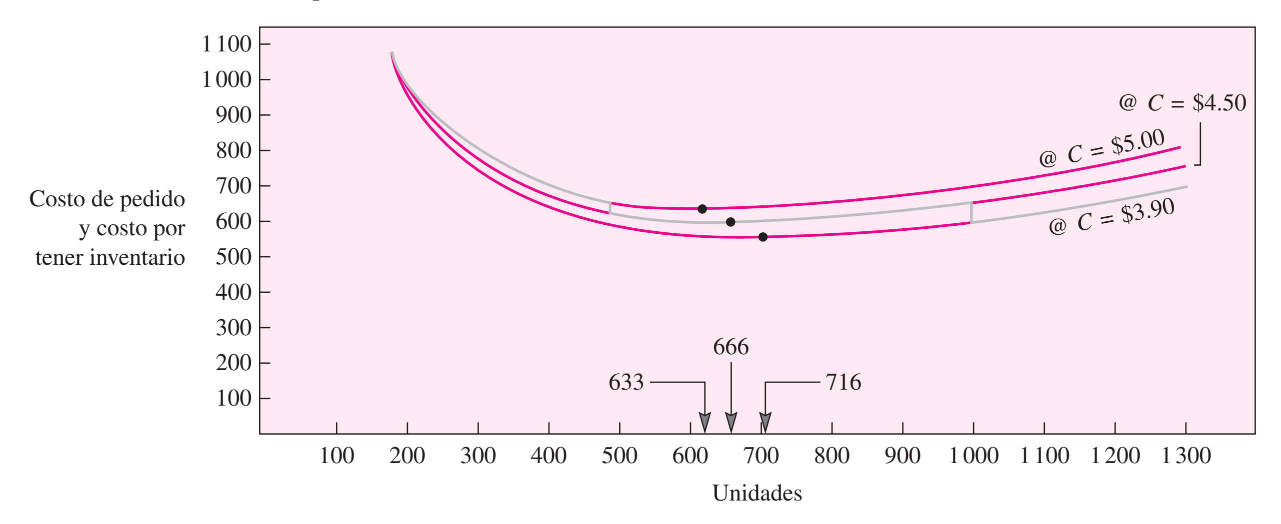
Los cálculos se simplifican un poco si el costo de mantenimiento se basa en un porcentaje del precio unitario (estarán en todos los ejemplos y problemas presentados en este libro). En este caso solo se necesita revisar un subconjunto de las cantidades con precio descontado. Se aplica el siguiente procedimiento de dos pasos:

Paso 1. Se clasifican los precios desde el más bajo hasta el más alto y luego, a partir del precio más bajo, se calcula la cantidad económica de pedido por cada nivel de precio hasta encontrar una cantidad de pedido económica factible. Factible significa que el precio se encuentra en el rango correcto.

Paso 2. Si la primera cantidad de pedido económica factible es para el precio más bajo, esta cantidad es la mejor y el proceso terminó. De lo contrario, se calcula el costo total para la primera cantidad de pedido económica factible (desde el precio más bajo hasta el más alto) y se calcula también el costo total en cada precio descontado inferior al precio asociado a la primera cantidad de pedido económica. Esta es la cantidad económica más baja en la que se aprovecha el precio descontado. La Q óptima es la que tenga el costo más bajo.

Al revisar la ilustración 17.9 se ve que las cantidades de pedido se resuelven de derecha a izquierda, o del precio unitario más bajo al más alto, hasta obtener una Q válida. Luego, con la

ILUSTRACIÓN 17.9 Curvas para tres modelos de cantidad de pedido independientes en una situación de tres reducciones de precio (la línea gris muestra el rango de compras factible).



cantidad de pedido en cada *precio descontado* por encima de esta Q se encuentra la cantidad de pedido con menor costo: la Q calculada o la Q en uno de los precios descontados.

EJEMPLO 17.8: Descuento por cantidad

Paso por paso

Considere el caso siguiente, donde

D = 10 000 unidades (demanda anual)
S = $20 por hacer cada pedido
i = 20% del costo (costo de manejo anual, almacenamiento, interés, obsolescencia, etcétera)
C = Costo por unidad (según el tamaño del pedido; pedidos de 0 a 499 unidades, $5 por unidad; de 500 a 999, $4.50 por unidad; 1 000 o más, $3.90 por unidad)

¿Qué cantidad se debe pedir?

Solución

Las ecuaciones apropiadas a partir del caso de cantidad de pedido fija básico son

$$TC = DC + \frac{D}{Q}S + \frac{Q}{2}iC$$

y

$$Q = \sqrt{\frac{2DS}{iC}} \qquad \textbf{(17.15)}$$

Al resolver para calcular la cantidad económica se obtiene

@ C = $3.90,	Q = 716	No factible
@ C = $4.50,	Q = 667	Costo factible = $45 600
Q revisada = 1 000,	Costo = $39 590	Solución óptima

Observe que en la ilustración 17.10, que muestra la relación de costos y el rango de la cantidad pedida, la mayor parte de las relaciones entre la cantidad pedida y el costo salen del rango factible y solo se obtiene un rango continuo simple. Lo anterior se aprecia con facilidad porque, por ejemplo, la primera cantidad de pedido especifica la compra de 633 unidades a $5 cada una. No obstante, si se piden 633 unidades, el precio es de $4.50 y no de $5. Lo mismo sucede con la tercera cantidad de pedido, que especifica un pedido de 716 unidades a $3.90 cada una. Este precio de $3.90 no está disponible en pedidos de menos de 1 000 unidades.

La ilustración 17.10 muestra los costos totales en cantidades de pedido económicas y con precios descontados. La cantidad de pedido óptima es 1 000 unidades. ●

Una consideración práctica en los problemas de descuento por cantidad es que la reducción de precio en compras por volumen casi siempre hace que resulte económico pedir cantidades superiores a $Q_{\text{ópt}}$. Así, al aplicar el modelo es preciso tener mucho cuidado de obtener un estimado válido de la obsolescencia del producto y los costos de almacenamiento.

ILUSTRACIÓN 17.10
Costos relevantes en un modelo de tres descuento por cantidad.

	Q = 633 donde C = $5	Q = 667 donde C = $4.50	Q = 716 donde C = $3.90	Descuento por cantidad 1 000
Costo de tener inventario $\left(\frac{Q}{2}iC\right)$		$\frac{667}{2}(0.20)4.50$ = $300.15		$\frac{1\,000}{2}(0.20)3.90$ = $390
Costo de pedido $\left(\frac{D}{Q}S\right)$	No factible	$\frac{10\,000(20)}{667}$ = $299.85	No factible	$\frac{10\,000(20)}{1\,000}$ = $200
Costo de tener inventario y de pedido		$600.00		$590.00
Costo de la pieza (DC)		10 000(4.50)		10 000(3.90)
Costo total		$45 600		$39 590

Planificación de inventario ABC

Mantener el inventario mediante conteo, elaboración de pedidos, recepción de existencias, etc., requiere tiempo del personal y cuesta dinero. Cuando hay límites para estos recursos, el movimiento lógico consiste en utilizar los recursos disponibles para controlar el inventario de la mejor manera; en otras palabras, enfocarse en las piezas más importantes en el inventario.

En el siglo XIX, Vilfredo Pareto, en un estudio sobre la distribución de la riqueza en Milán, descubrió que 20% de las personas controlaban 80% de la riqueza. Esta lógica de la minoría con la mayor importancia y la mayoría con la menor importancia se extendió a muchas situaciones y se conoce como el *principio de Pareto*.[3] Esto sucede en la vida diaria (la mayor parte de las decisiones de las personas son relativamente sin importancia, pero unas cuantas dan forma a su futuro) y desde luego se aplica a los sistemas de inventario (donde unas cuantas piezas representan la mayor parte de la inversión).

Todo sistema de inventario debe especificar el momento de pedir una pieza y cuántas ordenar. Casi todas las situaciones de control de inventarios comprenden tantas piezas que no resulta práctico crear un modelo y dar un tratamiento uniforme a cada una. Para evitar este problema, el esquema de clasificación ABC divide las piezas de un inventario en tres grupos: volumen de dólares alto (A), volumen de dólares moderado (B) y volumen de dólares bajo (C). El volumen en dinero es una medida de importancia; una pieza de bajo costo pero alto volumen puede ser más importante que una pieza cara pero de bajo volumen.

Clasificación ABC

Si el uso anual de las piezas de un inventario se presenta según el volumen de dólares, por lo regular la lista muestra que un número reducido de piezas representa un volumen de dólares alto y que muchas piezas conforman un volumen de dólares bajo. La ilustración 17.11*A* muestra esta relación.

La estrategia ABC divide esta lista en tres grupos según el valor: las piezas A constituyen casi el 15% más alto de las piezas, las piezas B el 35% siguiente y las piezas C el último 50%. A partir de la observación, al parecer la lista en la ilustración 17.11*A* se puede agrupar con A que representa 20% (2 de 10); B, 30%, y C, 50%. Estos puntos muestran límites muy claros entre las secciones. El resultado de esta segmentación se muestra en la ilustración 17.11*B* y se grafica en la 17.11*C*.

Es probable que la segmentación no siempre ocurra con tanta claridad. Sin embargo, el objetivo es separar lo importante de lo que no lo es. El punto en el que las líneas se dividen realmente depende del inventario en cuestión y de la cantidad de tiempo del personal disponible (con más tiempo, una empresa definiría categorías A y B más extensas).

El propósito de clasificar las piezas en grupos es establecer el grado de control apropiado sobre cada uno. En forma periódica, por ejemplo, las piezas de la clase A quizás estén más controladas con pedidos semanales, las piezas B se podrían pedir cada dos semanas y las piezas C cada uno o dos meses. Observe que el costo unitario de las piezas no tiene relación alguna con su clasificación. Una pieza A puede tener un volumen de dinero alto mediante una combinación de bajo costo y alto uso o de costo alto y uso bajo. De igual manera, las piezas C pueden tener un volumen de dinero bajo porque tienen una demanda o un costo bajos. En una estación de servicio para automóviles, la gasolina sería una pieza A con resurtido diario o semanal; las llantas, baterías, aceite y líquido de transmisión podrían ser piezas B y pedirse cada dos a cuatro semanas; y las piezas C consistirían en válvulas, limpiaparabrisas, tapones de radiador, mangueras, bandas de ventilador, aceite y aditivos para gasolina, cera automotriz, etc. Estas piezas se podrían pedir cada dos o tres meses e incluso permitir que se agotaran antes de volver a pedirlas porque el castigo por las existencias agotadas no es muy grave.

[3] El principio de Pareto también se aplica con frecuencia en los problemas de calidad mediante tablas de Pareto. (Vea el capítulo 6.)

ILUSTRACIÓN 17.11

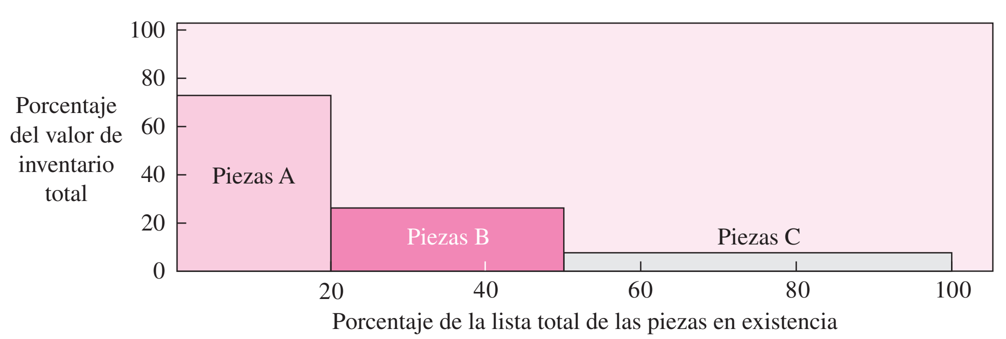
A. Uso anual del inventario por valor.

Número de pieza	Uso anual en dólares	Porcentaje del valor total
22	$ 95 000	40.69
68	75 000	32.13
27	25 000	10.71
03	15 000	6.43
82	13 000	5.57
54	7 500	3.21
36	1 500	0.64
19	800	0.34
23	425	0.18
41	225	0.10
	$233 450	100.0

B. Agrupamiento ABC de piezas inventariadas.

Clasificación	Número de pieza	Uso anual en dólares	Porcentaje del total
A	22, 68	$170 000	72.9
B	27, 03, 82	53 000	22.7
C	54, 36, 19, 23, 41	10 450	4.4
		$233 450	100.0

C. Clasificación de inventarios ABC (valor de inventario por cada grupo *versus* la porción del grupo de la lista total).



En ocasiones, una pieza puede ser crítica para un sistema si su ausencia provoca una pérdida significativa. En este caso, sin importar la clasificación de la pieza, deben mantenerse existencias lo bastante altas para evitar que se agote. Una forma de asegurar un control más estrecho es asignar a esta pieza una A o una B, clasificándola en una categoría aunque su volumen de dólares no garantice su inclusión.

Precisión del inventario y conteo de ciclo

Por lo regular, los registros del inventario difieren del conteo físico real; la precisión del inventario se refiere a la coincidencia de ambos. Compañías como Walmart entienden la importancia de la precisión del inventario e invierten esfuerzos considerables para garantizarla. La pregunta es: ¿qué margen de error es aceptable? Si el registro muestra un saldo de 683 piezas X y un conteo real muestra 652, ¿está dentro de lo razonable? Suponga que el conteo real muestra 750, un exceso de 67 sobre el registro, ¿es mejor?

Todos los sistemas de producción deben mostrar un saldo, dentro de un rango específico, entre lo que indica el registro y lo que de verdad hay en el inventario. Hay muchas razones por las que los registros y el inventario no concuerden. Por ejemplo, un área de inventario abierta permite que las piezas se retiren con propósitos legales y no autorizados. Es probable que un retiro legítimo se haga de prisa y simplemente no se registre. En ocasiones, las piezas están mal puestas y se encuentran meses después. A menudo, las piezas se guardan en varios lugares, pero es probable que se pierdan los registros o que la ubicación se registre en forma incorrecta. Otras veces, los pedidos para resurtir el inventario se registran como recibidos cuando en realidad nunca llegaron. A veces, se registra que un grupo de piezas salió del inventario pero el pedido del cliente se canceló y las piezas regresaron al inventario sin cancelar el registro. Para que el sistema de producción fluya sin que haya faltantes de piezas ni saldos en exceso, los registros deben ser precisos.

Una vendedora de la tienda de departamentos Mitsukoshi de Tokio lee una etiqueta RFID en unos jeans para verificar la existencia. Mitsukoshi y el gigante electrónico de Japón, Fujitsu, se asociaron para usar el RFID y mejorar así el control de existencias y el servicio al cliente.

¿Cómo lleva una empresa registros precisos y actualizados? Los códigos de barras y las etiquetas RFID son importantes para reducir al mínimo los errores causados por introducir números erróneos en el sistema. También es importante mantener el almacén cerrado con llave. Si solo el personal del almacén tiene acceso y una de las medidas de desempeño para la evaluación del personal y la forma de aumentar sus méritos es la precisión de los registros, hay una fuerte motivación para cumplir con ella. Cada lugar de almacenamiento de inventario, sea un almacén cerrado con llave o el piso de producción, debe tener un mecanismo para llevar los registros. Una segunda forma es comunicar la importancia de los registros exactos a todo el personal y depender de él para que colabore en este esfuerzo. (Todo esto se reduce a lo siguiente: colocar una reja alrededor del techo del área del almacén de modo que los trabajadores no puedan sacar las piezas; colocar una cerradura en la puerta y darle la llave a una persona. Nadie podrá sacar piezas sin una transacción autorizada y registrada.)

Otra manera de asegurar la precisión es contar el inventario con frecuencia y compararlo con los registros. Un método muy común se conoce como *conteo de ciclo*.

Conteo de ciclo

El **conteo de ciclo** es una técnica en la que el inventario se cuenta con frecuencia en lugar de una o dos veces al año. La clave para un conteo de ciclo eficaz y por ende para registros precisos radica en decidir qué piezas se van a contar, cuándo y por quién.

En la actualidad, casi todos los sistemas de inventario están computarizados. Es posible programar la computadora para que produzca una notificación de conteo de ciclo en los siguientes casos:

1. Cuando el registro muestre un saldo de bajo a cero. (Es más fácil contar menos piezas.)
2. Cuando el registro muestre un saldo positivo pero se escribió un pedido acumulado (lo cual indica una discrepancia).
3. Después de un nivel de actividad específico.
4. Para indicar una revisión con base en la importancia de la pieza (como en el sistema ABC), como la tabla siguiente:

Uso anual en dólares	Revisión del periodo
$10 000 o más	30 días o menos
$3 000 a $10 000	45 días o menos
$250 a $3 000	90 días o menos
Menos de $250	180 días o menos

El momento para contar el inventario con mayor facilidad es cuando no hay actividad en el almacén o en el piso de producción. Esto significa los fines de semana o durante el segundo o tercer turno, cuando las instalaciones están menos ocupadas. Si no es posible, es necesario registrar y separar las piezas con mayor detenimiento para contar el inventario mientras la producción está en proceso y ocurren transacciones.

El conteo de ciclo depende del personal disponible. Algunas empresas programan que el personal regular del almacén realice el conteo durante un día hábil normal. Otras compañías contratan empresas privadas para contar el inventario. Otras más utilizan contadores de ciclo de tiempo completo que no hacen otra cosa más que contar el inventario y solucionar las diferencias con los registros. Aunque este último método parece costoso, muchas empresas creen que en realidad lo es menos que el conteo de inventario anual que suele efectuarse durante dos o tres semanas en que las instalaciones están cerradas por vacaciones anuales.

La pregunta sobre el error tolerable entre el inventario físico y los registros es objeto de muchos debates. Algunas empresas buscan una precisión de 100% mientras que otras aceptan 1, 2 o 3% de error. El nivel de precisión que los expertos recomiendan con frecuencia es ±0.2% para las piezas A, ±1% para las B y ±5% para las C. Sin importar la precisión específica decidida, el punto es que el nivel sea confiable de modo que haya inventarios de seguridad como protección. La precisión es importante para un proceso de producción uniforme con el fin de que los pedidos de los clientes se procesen según lo programado y no se detengan por falta de piezas.

Resumen

Este capítulo presentó las dos clases principales de demanda: 1) demanda independiente, que se refiere a la demanda externa del producto final de una empresa, y 2) demanda dependiente, que casi siempre se refiere, dentro de la compañía, a la demanda de piezas que se crea gracias a la demanda de artículos más complejos de las que forman parte. La mayoría de las industrias tiene piezas de ambas clases. En la manufactura, por ejemplo, la demanda independiente es común entre los productos terminados, las piezas para servicio y reparación, y los suministros operativos; y la demanda dependiente es común para las piezas y materiales necesarios para fabricar el producto final. En las ventas al mayoreo y al menudo de bienes para el consumidor, la mayor parte de la demanda es independiente, cada pieza es un producto final y el mayorista o minorista no arma ni fabrica nada.

La demanda independiente, en la que se centra este capítulo, se basa en la estadística. En los modelos de cantidad de pedidos fija y tiempo fijo, la influencia del nivel de servicios es evidente al determinar el inventario de seguridad y el punto de reorden. Asimismo, se presenta un modelo con fin especial: el de un solo periodo.

Para distinguir entre las categorías de piezas para su análisis y control se estudió el método ABC. La importancia de la precisión del inventario también se hace notar y se describe el conteo de ciclo.

En este capítulo también se señala que la reducción del inventario requiere conocer el sistema operativo. No se trata solo de seleccionar un modelo de inventario previamente establecido e incluir algunos números. En primer lugar, es probable que un modelo no sea apropiado. En segundo, quizá los números estén llenos de errores o se basen en datos erróneos. A menudo, determinar la cantidad de los pedidos se considera un problema de concesiones; es decir, cambiar los costos de espera a expensas de los costos de preparación. Observe que las compañías quieren reducir ambos.

El punto es que las empresas realizan grandes inversiones en inventario y el costo de manejarlo representa de 25 a 35% del valor anual del inventario. Por tanto, una meta importante de casi todas las compañías es reducirlo.

Sin embargo, es preciso hacer una advertencia. Las fórmulas en este capítulo tratan de reducir al mínimo el costo. Tenga en cuenta que el objetivo de una empresa debe ser “ganar dinero”, de modo que es necesario asegurarse de que reducir el costo del inventario apoye esta misión. Por lo general, la reducción correcta del inventario baja los costos, mejora la calidad y el desempeño, y aumenta las utilidades.

Conceptos clave

Inventario Existencias de una pieza o recurso que una organización utiliza.

Demanda independiente Demanda de piezas distintas si tienen relación entre sí.

Demanda dependiente Necesidad de cualquier pieza como resultado directo de la necesidad de otra, casi siempre un artículo del que forma parte.

Modelo de cantidad de pedido fija (modelo *Q*) Modelo de control de inventarios en el que la cantidad requerida es fija y el pedido real se basa en la reducción del inventario a un nivel específico.

Modelo de periodo fijo (modelo *P*) Modelo de control de inventarios que especifica el inventario pedido al final de un periodo predeterminado. El intervalo entre pedidos es fijo y la cantidad pedida varía.

Posición del inventario Cantidad disponible más cantidad pedida menos cantidad de pedidos acumulados. En caso de que el inventario esté destinado a propósitos especiales, su posición se reduce en estas cantidades distribuidas.

Inventario de seguridad Cantidad de inventario que se maneja además de la demanda esperada.

Conteo de ciclo Técnica física en la que el inventario se cuenta con frecuencia en lugar de una o dos veces al año.

Revisión de fórmulas

Modelo de periodo único. Probabilidad acumulada de que la última unidad no se venda. Razón entre el costo marginal de la demanda subestimada y el costo marginal de la demanda sobrestimada.

$$P \leq \frac{C_u}{C_o + C_u} \quad \textbf{(17.1)}$$

Modelo Q. Costo anual total de una Q pedida, un costo por unidad C, un costo de preparación S y un costo de mantenimiento por unidad H.

$$TC = DC + \frac{D}{Q}S + \frac{Q}{2}H \quad \textbf{(17.2)}$$

Modelo Q. Cantidad de pedidos óptima (o económica).

$$Q_{\text{ópt}} = \sqrt{\frac{2DS}{H}} \quad \textbf{(17.3)}$$

Modelo Q. Punto de reorden R con base en la demanda diaria promedio $\bar{d}$ y el tiempo de entrega L en días.

$$R = \bar{d}L \quad \textbf{(17.4)}$$

Modelo Q. Punto de reorden con un inventario de seguridad de $z\sigma_L$.

$$R = \bar{d}L + z\sigma_L \quad \textbf{(17.5)}$$

Demanda promedio diaria en un periodo de n días.

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^{n} d_i}{n} \quad \textbf{(17.6)}$$

Desviación estándar de la demanda en un periodo de n días.

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (d_i - \bar{d})^2}{n}} \quad \textbf{(17.7)}$$

Desviación estándar de una serie de demandas independientes.

$$\sigma_L = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \cdots + \sigma_L^2} \quad \textbf{(17.8)}$$

Modelo Q. Cálculo del inventario de seguridad.

$$SS = z\sigma_L \quad \textbf{(17.9)}$$

Modelo P. Cálculo del inventario de seguridad.

$$\text{SS} = z\sigma_{T+L} \quad \textbf{(17.10)}$$

Modelo P. Cantidad de pedidos óptima en un sistema de periodo fijo con un periodo de revisión de T días y un tiempo de entrega de L días.

$$q = \bar{d}(T + L) + z\sigma_{T+L} - I \quad \textbf{(17.11)}$$

Modelo *P*. Desviación estándar de una serie de demandas independientes en un periodo de revisión *T* y un tiempo de entrega *L*.

$$\sigma_{T+L} = \sqrt{\sum_{i=1}^{T+L} \sigma_d^2} \quad \textbf{(17.12)}$$

Promedio del inventario.

$$\text{Valor promedio del inventario} = (Q/2 + SS)C \quad \textbf{(17.13)}$$

Rotación de inventario.

$$\text{Rotación de inventario} = \frac{DC}{(Q/2 + SS)C} = \frac{D}{Q/2 + SS} \quad \textbf{(17.14)}$$

Cantidad de pedido económica (con porcentaje de costo de mantenimiento).

$$Q = \sqrt{\frac{2DS}{iC}} \quad \textbf{(17.15)}$$

Problemas resueltos

Problema resuelto 1

Un producto tiene un precio de venta de \$100 por unidad y su costo es constante de \$70 por unidad. Cada unidad no vendida tiene un valor de recuperación de \$20. Se espera que la demanda sea entre 35 y 40 unidades durante el periodo; 35 se pueden vender definitivamente y no se venderá una unidad por encima de 40. A continuación se muestran las probabilidades de la demanda y la distribución de la probabilidad acumulada asociada (*P*) para esta situación.

Excel: Control de inventarios

Cantidad de unidades demandadas	Probabilidad de esta demanda	Probabilidad acumulada
35	0.10	0.10
36	0.15	0.25
37	0.25	0.50
38	0.25	0.75
39	0.15	0.90
40	0.10	1.00

¿Cuántas unidades se deben pedir?

Solución

El costo de subestimar la demanda es la pérdida de ganancias, o C_u = \$100 − \$70 = \$30 por unidad. El costo de sobrestimar la demanda es la pérdida en que se incurre al tener que vender la unidad a un costo de recuperación, C_o = \$70 − \$20 = \$50.

La probabilidad óptima de que no se venda es

$$P \leq \frac{C_u}{C_o + C_u} = \frac{30}{50 + 30} = 0.375$$

A partir de los datos de distribución anteriores, esto corresponde a la 37a. unidad.

El siguiente es un análisis marginal completo del problema. Observe que el costo mínimo se presenta al comprar 37 unidades.

		Cantidad de unidades adquiridas					
Unidades demandadas	**Probabilidad**	**35**	**36**	**37**	**38**	**39**	**40**
35	0.1	0	50	100	150	200	250
36	0.15	30	0	50	100	150	200
37	0.25	60	30	0	50	100	150

(*continúa*)

(*continuación*)

Unidades demandadas	**Probabilidad**	**Cantidad de unidades adquiridas**					
		35	**36**	**37**	**38**	**39**	**40**
38	0.25	90	60	30	0	50	100
39	0.15	120	90	60	30	0	50
40	0.1	150	120	90	60	30	0
Costo total		75	53	43	53	83	125

Problema resuelto 2

Las piezas compradas a un distribuidor cuestan $20 cada una, y el pronóstico de la demanda para el próximo año es de 1 000 unidades. Si cada vez que se hace un pedido de más unidades el costo es de $5 y el costo de almacenamiento es de $4 por unidad al año, ¿qué cantidad se debe pedir en cada ocasión?

a) ¿Cuál es el costo total de pedido para ese año?
b) ¿Cuál es el costo total de almacenamiento para ese año?

Solución

La cantidad por pedir en cada ocasión es

$$Q = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(1\,000)5}{4}} = 50 \text{ unidades}$$

a) El costo total de pedido para un año es

$$\frac{D}{Q}S = \frac{1\,000}{50}(\$5) = \$100$$

b) El costo total de almacenamiento para un año es

$$\frac{Q}{2}H = \frac{50}{2}(\$4) = \$100$$

Problema resuelto 3

La demanda diaria de un producto es de 120 unidades, con una desviación estándar de 30 unidades. El periodo de revisión es de 14 días, y el tiempo de entrega, de siete días. En el momento de la revisión había 130 unidades en el inventario. Si solo es aceptable un riesgo de 1% de que el inventario se agote, ¿cuántas unidades se deben pedir?

Excel: Control de inventarios

Solución

$$\sigma_{T+L} = \sqrt{(14+7)(30)^2} = \sqrt{18\,900} = 137.5$$
$$z = 2.33$$
$$q = \bar{d}(T+L) + z\sigma_{T+L} - I$$
$$= 120(14+7) + 2.33(137.5) - 130$$
$$= 2\,710 \text{ unidades}$$

Problema resuelto 4

En la actualidad, una compañía tiene 200 unidades de un producto que pide cada dos semanas cuando el vendedor visita las instalaciones. La demanda promedio del producto es de 20 unidades al día, con una desviación estándar de 5 unidades. El tiempo de entrega del producto es de siete días. La gerencia tiene la meta de una probabilidad de 95% de no quedarse sin existencias de esta pieza.

El vendedor debe llegar a la compañía esta tarde cuando queden 180 unidades en existencia (con la suposición de que se vendan 20 durante el día). ¿Cuántas unidades se deben pedir?

Excel: Control de inventarios

Solución

Como $I = 180$, $T = 14$, $L = 7$, $d– = 20$

$$\sigma_{T+L} = \sqrt{21(5)^2} = 23$$
$$z = 1.64$$
$$q = \bar{d}(T + L) + z\sigma_{T+L} - I$$
$$= 20(14 + 7) + 1.64(23) - 180$$
$$q = 278 \text{ unidades}$$

Preguntas de repaso y análisis

1. ¿Cuál es la diferencia entre la demanda dependiente e independiente en un restaurante de McDonald's, un fabricante integrado de copiadoras personales y una compañía de suministros farmacéuticos?
2. ¿Cuál es la diferencia entre el inventario en proceso, el inventario de seguridad y el inventario estacional?
3. Analice la naturaleza de los costos que afectan el tamaño del inventario.
4. ¿En qué condiciones un gerente de planta elegiría usar un modelo de cantidad de pedido fija en lugar de un modelo de periodo fijo? ¿Cuáles son las desventajas de usar un sistema de pedido de periodo fijo?
5. ¿Cuáles son las dos preguntas básicas que es necesario responder mediante una regla de decisión de control de inventarios?
6. Analice las suposiciones inherentes en el costo de preparación de la producción, el costo de pedidos y los costos de manejo. ¿Qué tan válidas son?
7. "Lo bueno de los modelos de inventarios es que puede tomar uno predeterminado y aplicarlo siempre y cuando sus estimados de los costos sean precisos." Comente.
8. ¿Qué tipo de sistema de inventarios utilizaría en las situaciones siguientes?
   a) Abastecer su cocina con alimentos frescos.
   b) Obtener un periódico todos los días.
   c) Comprar gasolina para su auto.
   ¿A cuál de estas piezas le asigna el costo más elevado de quedarse sin existencias?
9. ¿Por qué es preferible clasificar las piezas en grupos, como en la clasificación ABC?

Problemas

1. El supermercado local compra lechuga todos los días para asegurar la frescura del producto. Cada mañana, toda la lechuga que quedó del día anterior se vende a un distribuidor que la revende a los granjeros para que alimenten a sus animales. Esta semana, el supermercado compra lechuga fresca a $4 la caja. La lechuga se vende en $10 la caja y el distribuidor que vende la lechuga remanente está dispuesto a pagar $1.50 por caja. La experiencia establece que la demanda promedio de lechuga para mañana es de 250 cajas, con una desviación estándar de 34 cajas. ¿Cuántas cajas de lechuga debe comprar el supermercado mañana?
2. La próxima semana, Super Discount Airlines tiene un vuelo de Nueva York a Los Ángeles reservado a toda su capacidad. La línea aérea sabe, por experiencia, que un promedio de 25 clientes (con una desviación estándar de 15) cancela su reservación o no se presenta al vuelo. La ganancia por un boleto es de $125. Si el vuelo está sobrevendido, la línea aérea tiene la política de subir al cliente en el siguiente vuelo disponible y darle a esa persona un boleto de viaje redondo gratis para un vuelo futuro. El costo promedio de este viaje redondo es de $250. Super Discount considera que el costo de viajar en avión de Nueva York a Los Ángeles es irrecuperable. ¿Cuántos asientos debe sobrevender Super Discount?
3. Ray's Satellite Emporium quiere determinar el mejor tamaño de pedido para su antena que más se vende (el modelo TS111). Ray estimó que la demanda anual para este modelo será de 1 000 unidades. Su costo por manejar una unidad es de $100 al año por unidad y estima que cada pedido cuesta $25. Con el modelo EOQ, ¿cuántas unidades debe pedir Ray cada vez?
4. Dunstreet's Departament Store quiere establecer una política de pedidos para el inventario con una probabilidad de 95% de que no se agote. Para ilustrar el procedimiento que recomiende utilice como ejemplo la política de pedidos de sábanas blancas.

   La demanda de sábanas blancas es de 5 000 al año. La tienda está abierta los 365 días del año. Cada dos semanas (14 días) se cuenta el inventario y se hace un nuevo pedido. Las sábanas tardan 10 días en llegar. La desviación estándar de la demanda es de cinco por día. En la actualidad hay 150 sábanas disponibles.

   ¿Cuántas sábanas debe pedir?

5. Charlie's Pizza pide el pepperoni, aceitunas, anchoas y el queso mozzarella directamente a Italia. Un distribuidor estadounidense llega cada cuatro semanas a levantar el pedido. Como los pedidos se envían desde Italia, tardan tres semanas en llegar.

Charlie's Pizza utiliza un promedio de 150 libras de pepperoni a la semana, con una desviación estándar de 30 libras. Charlie's se enorgullece de ofrecer solo ingredientes de la mejor calidad y un alto nivel de servicio, de modo que quiere asegurar una probabilidad de 98% de no quedarse sin pepperoni.

Suponga que el representante de ventas acaba de llegar y que hay 500 libras de pepperoni en el congelador. ¿Cuántas libras de pepperoni pediría usted?

6. Con la información siguiente elabore un sistema de manejo de inventarios. La demanda del producto abarca 50 semanas al año.

Costo de la pieza	$10.00	Desviación estándar de la demanda semanal	25 por semana
Costo del pedido	$250.00		
Costo de mantenimiento anual (%)	33% del costo de la pieza	Tiempo de entrega	1 semana
Demanda anual	25 750	Probabilidad de servicio	95%
Demanda promedio	515 por semana		

a) Establezca la cantidad del pedido y el punto de reorden.
b) Determine los costos de mantenimiento y pedido anuales.
c) Si se ofreció una reducción de precio de $50 por pedido por comprar cantidades superiores a 2 000, ¿aprovecharía la oportunidad? ¿Cuánto ahorraría al año?

7. Lieutenant Commander Data planifica su viaje mensual (cada 30 días) a Gamma Hydra City para recoger un suministro de módulos isolineales. El viaje tardará alrededor de dos días. Antes de salir, Data hace el pedido a GHC Supply Store. Data utiliza los módulos con un índice promedio de cinco por día (siete días a la semana) con una desviación estándar de la demanda de uno por día. Necesita una probabilidad de servicio de 98%. Si en la actualidad tiene 35 módulos en inventario, ¿cuántos debe pedir? ¿Cuánto es lo más que tendrá que pedir?

8. Jill's Job Shop compra dos piezas (Tegdiws y Widgets) para su sistema de producción a dos proveedores. Las piezas se necesitan durante todo el año de 52 semanas. Los Tegdiws se usan con un ritmo relativamente constante y se piden siempre que la cantidad restante baja al nivel de reorden. Los Widgets se piden a un proveedor que llega cada tres semanas. Los datos de ambos productos son los siguientes:

Artículo	Tegdiw	Widget
Demanda anual	10 000	5 000
Costo de mantenimiento (% del costo de la pieza)	20%	20%
Costo de preparación o pedido	$150.00	$25.00
Tiempo de entrega	4 semanas	1 semana
Inventario de seguridad	55 unidades	5 unidades
Costo de la pieza	$10.00	$2.00

a) ¿Cuál es el sistema de control de inventario para los Tegdiws? Es decir, ¿qué cantidad se debe volver a pedir y en qué punto?
b) ¿Cuál es el sistema de control de inventarios para los Widgets?

9. La demanda de una pieza es de 1 000 unidades al año. Cada pedido cuesta $10; el costo anual de manejar las piezas en el inventario es de $2 cada uno. ¿Qué cantidad se debe pedir?

10. La demanda anual de un producto es de 15 600 unidades. La demanda semanal es de 300 unidades con una desviación estándar de 90 unidades. El costo de hacer un pedido es de $31.20 y el tiempo para recibirlo es de cuatro semanas. El costo anual de manejo de inventario es de $0.10 por unidad. Encuentre el punto de reorden lo necesario para tener una probabilidad de servicio de 98%.

Suponga que la gerente de producción tiene que reducir el inventario de seguridad de esta pieza 50%. Si lo hace, ¿cuál será la nueva probabilidad de servicio?

11. La demanda diaria de un producto es de 100 unidades, con una desviación estándar de 25 unidades. El periodo de revisión es de 10 días y el tiempo de entrega es de seis días. En el momento de la revisión hay 50 unidades en existencia. Si se desea una probabilidad de servicio de 98%, ¿cuántas unidades se deben pedir?

12. El elemento X es una pieza estándar almacenada en el inventario de componentes de una compañía. Cada año la empresa, en forma aleatoria, utiliza alrededor de 2 000 unidades de la pieza, que cuestan $25 cada una. Los costos de almacenamiento, que incluyen seguro y costo de capital, son de $5 por unidad de inventario promedio. Cada vez que se hace un pedido de más elemento X, el costo es de 10 dólares.

a) Siempre que se pida el elemento X, ¿cuál debe ser el tamaño del pedido?
b) ¿Cuál es el costo anual por pedir el elemento X?
c) ¿Cuál es el costo anual por almacenar el elemento X?

13. La demanda anual de un producto es de 13 000 unidades; la demanda semanal es de 250 unidades con una desviación estándar de 40 unidades. El costo de hacer un pedido es de $100 y el tiempo de entrega es de cuatro semanas. El costo anual por manejo de inventario es de $0.65 por unidad. Para ofrecer una probabilidad de servicio de 98%, ¿cuál debe ser el punto de reorden?

Suponga que el gerente de producción informó la reducción de los inventarios de seguridad de este producto por 100 unidades. Si se hizo esto, ¿cuál será la nueva probabilidad de servicio?

14. En el pasado, Taylor Industries utilizaba un sistema de inventario de periodo fijo que comprendía contar todas las piezas del inventario cada mes. Sin embargo, los costos de mano de obra en aumento obligan a Taylor Industries a explorar otras formas de reducir la cantidad de mano de obra que participa en los almacenes pero sin aumentar otros costos, como los de almacenamiento. Esta es una muestra aleatoria de 20 de las piezas de Taylor.

Número de pieza	Uso anual	Número de pieza	Uso anual
1	$ 1 500	11	$13 000
2	12 000	12	600
3	2 200	13	42 000
4	50 000	14	9 900
5	9 600	15	1 200
6	750	16	10 200
7	2 000	17	4 000
8	11 000	18	61 000
9	800	19	3 500
10	15 000	20	2 900

a) ¿Qué recomendaría a Taylor para reducir su costo de mano de obra? (Ilustre su respuesta con un plan ABC.)
b) La pieza 15 es crucial para las operaciones continuas. ¿Cómo recomendaría clasificarla?

15. Gentle Ben's Bar and Restaurant utiliza 5 000 botellas de un cuarto de un vino importado al año. El vino espumoso cuesta $3 por botella y se sirve solo en botellas completas porque pierde las burbujas en poco tiempo. Ben piensa que cada pedido le cuesta $10 y los costos de mantenimiento son de 20% del precio de compra. Un pedido tarda en llegar tres semanas. La demanda semanal es de 100 botellas (casi dos semanas al año) con una desviación estándar de 30 botellas.

A Ben le gustaría usar un sistema de inventario que reduzca al mínimo el costo de inventario y ofrezca una probabilidad de servicio de 95%.

a) ¿Qué cantidad económica debe pedir Ben?
b) ¿En qué nivel de inventario debe hacer un pedido?

16. Retailers Warehouse (RW) es un proveedor independiente de artículos para el hogar para tiendas departamentales. RW trata de almacenar suficientes artículos para ofrecer una probabilidad de servicio de 98%.

Una de las piezas que almacena es un juego de cuchillos de acero inoxidable. La demanda (2 400 juegos al año) es relativamente estable durante todo el año. Siempre que pide existencias nuevas, un comprador se debe asegurar de que las cifras sean correctas en cuanto al inventario disponible y luego hace un nuevo pedido por teléfono. El costo total de hacer un pedido es de alrededor de $5. RW piensa que el mantenimiento del inventario y el pago de intereses sobre el capital que pidió prestado, el seguro, etc., suman un costo de mantenimiento anual de $4 por unidad.

El análisis de la información previa muestra que la desviación estándar de la demanda de los minoristas es de más o menos cuatro unidades al día durante un año de 365 días. El tiempo de entrega de un pedido es de siete días.

a) ¿Cuál es la cantidad económica de pedido?
b) ¿Cuál es el punto de reorden?

17. La demanda diaria de un producto es de 60 unidades con una desviación estándar de 10 unidades. El periodo de revisión es de 10 días, y el tiempo de entrega, de dos días. En el momento de la revisión hay 100 unidades en existencia. Si se desea una probabilidad de servicio de 98%, ¿cuántas unidades hay que pedir?

18. University Drug Pharmaceuticals pide sus antibióticos cada dos semanas (14 días) cuando pasa un vendedor de una de las compañías farmacéuticas. La tetraciclina es uno de los antibióticos más importantes, con una demanda promedio diaria de 2 000 cápsulas. La desviación estándar de la demanda diaria se deriva del análisis de las recetas de los últimos tres meses y es de 800 cápsulas. El pedido tarda cinco días en llegar. University Drug quiere cubrir 99% de las recetas. El vendedor acaba de llegar y en ese momento hay 25 000 cápsulas en existencia.

¿Cuántas cápsulas hay que pedir?

19. Sally's Silk Screening produce playeras que se venden sobre todo en actos especiales. Sally trata de decidir cuántas debe producir para el próximo acto. Durante el suceso mismo, que dura un día, Sally puede vender las playeras en $20 cada una. Sin embargo, al terminar el acto, toda playera que no se haya vendido se venderá en $4 dólares la pieza. A Sally le cuesta $8 hacer una playera de estas. Con el estimado de Sally en cuanto a la demanda, ¿cuántas playeras debe producir para el próximo acto?

Demanda	Probabilidad
300	0.05
400	0.10
500	0.40
600	0.30
700	0.10
800	0.05

20. Famous Albert se enorgullece de ser el rey de la cocina del oeste. Unas pequeñas galletas recién horneadas son la especialidad en su negocio. Famous Albert pidió ayuda para determinar el número de galletas que debe hacer cada día. A partir de un análisis de la demanda previa, estima que la demanda de galletas será

Demanda	Probabilidad de la demanda
1 800 docenas	0.05
2 000	0.10
2 200	0.20
2 400	0.30
2 600	0.20
2 800	0.10
3 000	0.05

Cada docena se vende en $0.69 y cuesta $0.49, que incluye manejo y transporte. Las galletas que no se venden al final del día se ofrecen a $0.29 y el día siguiente se venden como pan frío.

a) Elabore una tabla que muestre las ganancias o pérdidas por cada cantidad posible.
b) ¿Cuál es el número óptimo de galletas por hornear?
c) Resuelva el problema mediante un análisis marginal.

21. Sarah's Muffler Shop tiene un mofle estándar que le queda a gran variedad de autos. Sarah quiere establecer un sistema de punto de reorden para manejar el inventario de este mofle estándar. Con la información siguiente determine el mejor tamaño de pedido y el punto de reorden:

Demanda anual	3 500 mofles	Costo de pedido	$50 por pedido
Desviación estándar de la demanda diaria	6 mofles por día hábil	Probabilidad de servicio	90%
Costo de la pieza	$30 por mofle	Tiempo de entrega	2 días hábiles
Costo de mantenimiento anual	25% del valor de la pieza	Días hábiles	300 al año

22. Alpha Products, Inc., tiene un problema al tratar de controlar el inventario. No hay tiempo suficiente para dedicarles a todas las piezas por igual. Esta es una muestra de algunas de las piezas en existencia, además del uso anual por cada una expresado en volúmenes de dólares.

Pieza	Uso anual en dólares	Pieza	Uso anual en dólares
a	$ 7 000	k	$80 000
b	1 000	l	400
c	14 000	m	1 100
d	2 000	n	30 000
e	24 000	o	1 900
f	68 000	p	800
g	17 000	q	90 000
h	900	r	12 000
i	1 700	s	3 000
j	2 300	t	32 000

a) ¿Puede sugerir un sistema para distribuir el tiempo de control?
b) Especifique dónde se ubicaría cada pieza de la lista.

23. Después de la graduación usted decide hacerse socio de una tienda de artículos para oficina que existe desde hace varios años. Al caminar por la tienda y los almacenes encuentra una diferencia importante en los niveles de servicio. Algunos espacios y depósitos de artículos están totalmente vacíos; otros tienen existencias cubiertas de polvo y es obvio que han estado ahí desde hace mucho tiempo. Usted decide hacerse cargo del proyecto de establecer niveles de inventario uniformes para cubrir las demandas de los clientes. La mayor parte de las piezas se compra a unos cuantos distribuidores que llaman a la tienda una vez cada dos semanas.

Como primer artículo para estudiar, elige el papel de impresión para computadora. Examina los registros de ventas y las órdenes de compra, y se da cuenta de que la demanda durante los últimos 12 meses fue de 5 000 cajas. Con una calculadora realiza un muestreo de las demandas de algunos días y estima que la desviación estándar de la demanda diaria es de 10 cajas. Asimismo, investiga estas cifras:

Costo por caja de papel: $11
Probabilidad de servicio deseada: 98%
La tienda está abierta todos los días
El vendedor la visita cada dos semanas
El tiempo de entrega después de esa visita es de tres días

Con este procedimiento, ¿cuántas cajas de papel pediría si el día que llama el vendedor hay 60 cajas disponibles?

24. Un distribuidor de aparatos electrodomésticos grandes necesita determinar las cantidades de los pedidos y los puntos de reorden de los distintos productos que maneja. Los datos siguientes se refieren a un refrigerador específico en su línea de productos:

Costo de hacer un pedido	$100
Costo por tener inventario	20% del costo del producto al año
Costo del refrigerador	$500 cada uno
Demanda anual	500 refrigeradores
Desviación estándar durante el tiempo de entrega	10 refrigeradores
Tiempo de entrega	7 días

Considere una demanda diaria uniforme y un año de 365 días.
a) ¿Cuál es la cantidad económica de pedidos?
b) Si el distribuidor quiere una probabilidad de servicio de 97%, ¿qué punto de reorden R se debe usar?

25. Como nuevo jefe de la sección automotriz de Nichols Department Store, tiene la responsabilidad de garantizar que las cantidades de reorden de distintos artículos se establecieron en forma correcta. Usted

decide probar una pieza y elige las llantas Michelin, XW tamaño 185 × 14 BSW. Se aplicó un sistema de inventario perpetuo, de modo que lo analiza, al igual que otros registros, y obtiene la siguiente información:

Costo por llanta	$35 cada una
Costo de tener inventario	20% del costo de la llanta al año
Demanda	1 000 por año
Costo de pedido	$20 por pedido
Desviación estándar de la demanda diaria	3 llantas
Tiempo de entrega	4 días

Como los clientes casi nunca esperan que lleguen las llantas sino que acuden a otra tienda, elige una probabilidad de servicio de 98%. Suponga que la demanda ocurre 365 días al año.

a) Determine la cantidad que hay que pedir.

b) Determine el punto de reorden.

26. UA Hamburger Hamlet (UAHH) hace un pedido diario de las piezas que utiliza en mayor volumen (panes para hamburguesa, carne, leche, etc.). UAHH cuenta su inventario disponible una vez al día y hace su pedido por teléfono, que llega en 24 horas. Determine el número de hamburguesas que UAHH debe pedir en las condiciones siguientes:

Demanda promedio diaria	600
Desviación estándar de la demanda	100
Probabilidad de servicio deseada	99%
Inventario de hamburguesas	800

27. DAT, Inc., produce cintas de audio digitales para la división de audio para el consumidor. DAT no tiene el personal suficiente en su sección de suministro del inventario para controlar todas las piezas en existencia, de modo que le pidió que determinara una clasificación ABC. Esta es una muestra de los registros del inventario:

Pieza	Demanda mensual promedio	Precio unitario	Pieza	Demanda mensual promedio	Precio unitario
1	700	$6.00	6	100	10.00
2	200	4.00	7	3 000	2.00
3	2 000	12.00	8	2 500	1.00
4	1 100	20.00	9	500	10.00
5	4 000	21.00	10	1 000	2.00

Elabore una clasificación ABC para estas 10 piezas.

28. Una estación de servicio local está abierta siete días a la semana, 365 días al año. Las ventas promedio de aceite Premium 10W40 son de 20 latas al día. Los costos de mantenimiento del inventario son de $0.50 por lata al año. Los costos de pedido son de $10 cada uno. El tiempo de entrega es de dos semanas. Las órdenes prometidas no son prácticas, porque los automovilistas se van.

a) Con base en estos datos, seleccione el modelo de inventario apropiado y calcule la cantidad económica de pedido y el punto de reorden. Describa en un enunciado cómo funcionaría el plan. Sugerencia: Suponga que la demanda es determinista.

b) Al jefe le preocupa este modelo porque la demanda sí varía. La desviación estándar de la demanda determinada a partir de una muestra es de 6.15 latas por día. El gerente quiere una probabilidad de servicio de 99.5%. Determine un nuevo plan de inventario basado en esta información y los datos en *a*. Utilice el $Q_{\text{ópt}}$ del inciso *a*).

29. Dave's Auto Supply combina pinturas para sus clientes. Cada semana, la tienda realiza un conteo del inventario de los colores que se utilizan más para mezclar pinturas. Determine la cantidad de pintura blanca que es preciso pedir con la siguiente información:

Demanda semanal promedio	20 galones
Desviación estándar de la demanda	5 galones/semana
Probabilidad de servicio deseada	98%
Inventario actual	25 galones
Tiempo de entrega	1 semana

30. Una compañía puede adquirir una materia prima particular con tres precios, según el tamaño del pedido:

Menos de 100 libras	$20 por libra
De 100 libras a 1 000	$19 por libra
Más de 1 000 libras	$18 por libra

El costo de colocar un pedido es de $40. La demanda anual es de 3 000 unidades. El costo de tener en almacén es 25% del precio del material.

¿Cuál es la cantidad económica de pedido por comprar cada vez?

31. CU Incorporated (CUI) produce contactos de cobre que utiliza en interruptores y relevadores. CUI necesita determinar la cantidad de pedido Q para satisfacer la demanda anual con el costo más bajo. El precio del cobre depende de la cantidad pedida. A continuación se presenta el precio de descuento y otros datos para el problema:

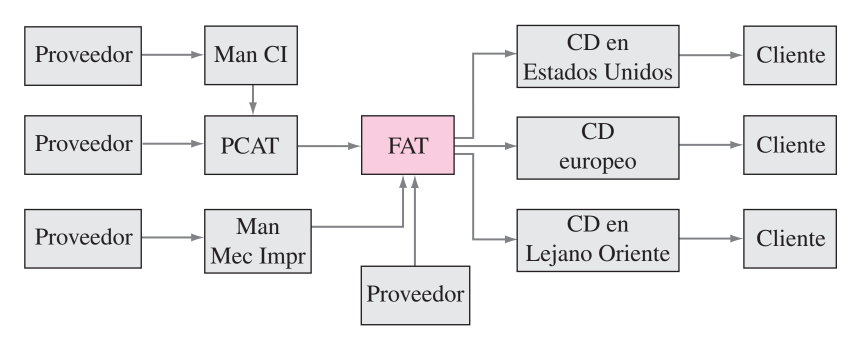
Precio del cobre	$0.82 por libra hasta 2 499 libras
	$0.81 por libra para pedidos entre 2 500 y 5 000 libras
	$0.80 por libra para pedidos mayores de 5 000 libras
Demanda anual	50 000 libras por año
Costo de tener en inventario	20% por unidad por año del precio del cobre
Costo del pedido	$30

¿Qué cantidad se debe pedir?

CASO: HEWLETT-PACKARD. ABASTECIMIENTO DE IMPRESORAS DESKJET A EUROPA

La impresora DeskJet se introdujo en 1988 y se convirtió en uno de los productos más exitosos de Hewlett-Packard (HP). Las ventas aumentaron en forma continua hasta alcanzar un nivel de más de 600 000 unidades. Por desgracia, el crecimiento del inventario es casi igual al de las ventas. Los centros de distribución de HP están llenos de cajas de la impresora DeskJet. Peor aún, la organización en Europa afirma que es necesario aumentar todavía más los niveles de inventario para mantener una disponibilidad satisfactoria del producto.

ILUSTRACIÓN 17.12
Cadena de suministro de la DeskJet de HP.



Abreviaturas: Man CI = Manufactura de circuitos integrados
PCAT = Ensamble y prueba de circuitos impresos
FAT = Ensamble y prueba finales
Man Mec Impr = Manufactura del mecanismo de impresión

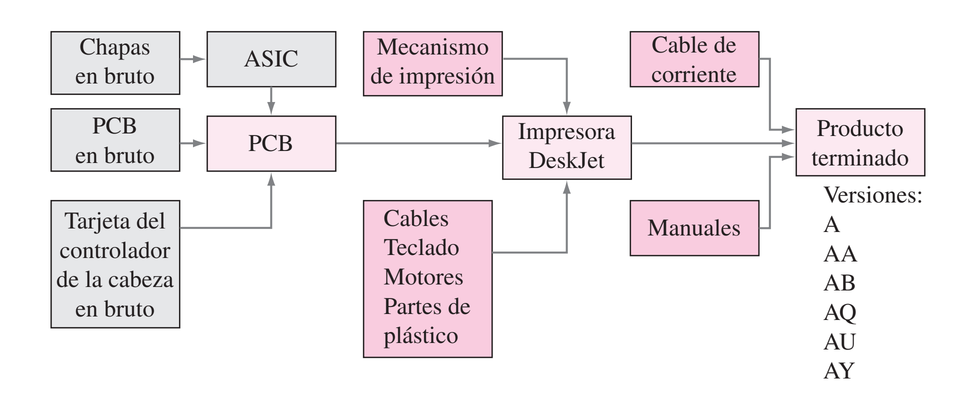


ILUSTRACIÓN 17.13
Lista de materiales de la DeskJet de HP.

CADENA DE SUMINISTRO DE LA DESKJET

La red de proveedores, sitios de manufactura, centros de distribución, distribuidores y clientes para el producto DeskJet constituye la cadena de suministro de la impresora (vea la ilustración 17.12). HP de Vancouver realiza la manufactura. Hay dos etapas clave en el proceso de manufactura: 1) ensamble y pruebas de circuitos impresos (PCAT, por sus siglas en inglés) y 2) ensamble y pruebas finales (FAT, por sus siglas en inglés). El PCAT comprende el ensamble y las pruebas de los componentes electrónicos (como circuitos integrados, memorias de solo lectura y tarjetas de circuito impresas en bruto) para producir las tarjetas lógicas para la impresora. El FAT comprende el ensamble de partes menores (como motores, cables, teclados, chasises de plástico, engranajes y ensambles de circuitos impresos del PCAT) para producir una impresora que funcione, así como su prueba final. Los componentes necesarios para el PCAT y el FAT provienen de otras divisiones de HP, así como de proveedores externos en todo el mundo.

La venta de la DeskJet en Europa requiere ajustar la impresora para que cubra los requerimientos de idiomas y voltaje de cada país, proceso que se conoce como "localización". De manera específica, la localización de la DeskJet en distintos países comprende el ensamble del módulo de suministro de corriente apropiado, que refleja los requerimientos de voltaje (110 o 220) y el enchufe correctos, así como el empaque con la impresora y un manual escrito en el idioma apropiado. En la actualidad, la prueba final se realiza con el módulo de corriente real incluido con la impresora. Por tanto, los productos terminados de fábrica son versiones "localizadas" de la impresora destinadas a los distintos países. Para la Unión Europea se producen actualmente seis versiones. Estas tienen las designaciones A, AA, AB, AQ, AU y AY, como lo indica la lista de materiales que muestra la ilustración 17.13.

El tiempo de procesamiento total en la fábrica entre las etapas PCAT y FAT es de más o menos una semana. El tiempo de transporte desde Vancouver hasta el centro de distribución de la Unión Europea es de cinco semanas. El prolongado tiempo de envío a Europa se debe al tránsito en el océano y el tiempo que tardan los productos en pasar la aduana y pagar los aranceles en el puerto de entrada. La planta envía un embarque semanal de impresoras al centro de distribución de Europa.

La industria de las impresoras es muy competitiva. Los revendedores quieren manejar el inventario más bajo posible. En consecuencia, HP está cada vez más presionado como fabricante para ofrecer altos niveles de disponibilidad en el centro de distribución. En respuesta, la gerencia decidió almacenar impresoras en los centros de distribución con el fin de mantener estos niveles.

Cadena de suministro

Global

CRISIS DEL SERVICIO DE INVENTARIOS

Limitar la cantidad de inventario en toda la cadena de suministro de la DeskJet y al mismo tiempo ofrecer el alto nivel de servicio necesario ha sido un gran reto para la gerencia en Vancouver. El grupo de manufactura tuvo mucho éxito en reducir la incertidumbre causada por la entrega al centro de distribución europeo. Sin embargo, el pronóstico de la demanda en Europa es un problema importante. Es ya común que haya faltantes de algunos modelos en determinados países mientras se apila el inventario de otros modelos. En el pasado, los niveles de inventario meta en los centros de distribución se basaban en los inventarios de seguridad que resultaban de un juicio práctico. De manera específica, por cada modelo manejado en el centro de distribución se establecieron niveles de inventario meta iguales a las ventas mensuales promedio. Sin embargo, ahora parece que el aumento en la dificultad para obtener pronósticos exactos significa que es necesario revisar las reglas de los inventarios de seguridad.

HP formó un equipo de empleados que ayuda a aplicar un sistema de inventarios de seguridad con bases científicas que responderá a los errores de pronóstico y los tiempos de resurtido. Asimismo, deben recomendar un método para calcular los niveles apropiados de inventarios de seguridad para los distintos modelos de DeskJet manejados en el centro de distribución europeo. El equipo tiene una muestra adecuada de datos sobre la demanda que es posible utilizar para desarrollar la metodología de los inventarios de seguridad (vea la ilustración 17.14). HP espera que esta nueva metodología solucione el problema del inventario y los servicios.

Un problema constante es la elección del costo de manejo del inventario por utilizar en los análisis de existencias de seguridad. Los estimados en la compañía varían de 12% (el costo de la deuda de HP más algunos gastos de almacenamiento) a 60% (con base en la recuperación de la inversión esperada de los proyectos de desarrollo de nuevos productos). La gerencia decidió utilizar 25% para este estudio. Suponga que todas las impresoras cuestan un promedio de 250 dólares cada una en producción y envío a Europa. Otro problema es la elección de la probabilidad para el inventario de seguridad en cada modelo. La compañía decidió usar una probabilidad de 98%, cifra que marketing considera apropiada.

ILUSTRACIÓN 17.14 Datos de la demanda de DeskJet en Europa.

Excel: HP DeskJet

Opciones en Europa	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.
A	80	—	60	90	21	48	—	9	20	54	84	42
AB	20 572	20 895	19 252	11 052	19 864	20 316	13 336	10 578	6 095	14 496	23 712	9 792
AU	4 564	3 207	7 485	4 908	5 295	90	—	5 004	4 385	5 103	4 302	6 153
AA	400	255	408	645	210	87	432	816	430	630	456	273
AQ	4 008	2 196	4 761	1 953	1 008	2 358	1 676	540	2 310	2 046	1 797	2 961
AY	248	450	378	306	219	204	248	484	164	363	384	234
Total	29 872	27,003	32 344	18 954	26 617	23 103	15 692	17 431	13 405	22 692	30 735	19 455

PROCESO DE DISTRIBUCIÓN

Por tradición, los centros de distribución visualizan el proceso como algo estandarizado, sencillo y directo. Consta de cuatro etapas:

1. Recibir (terminar) los productos de diversos proveedores y almacenarlos.
2. Elegir los distintos productos necesarios para cubrir el pedido de un cliente.
3. Empacar el pedido completo y etiquetarlo.
4. Enviar el pedido por conducto del transportista adecuado.

La impresora DeskJet se adapta bien al proceso estándar. En cambio, otros productos, como computadoras personales y monitores, requieren un procesamiento especial llamado "integración", que incluye la adición del teclado y manual apropiados para el país de destino. Aunque este procesamiento adicional no requiere mucha mano de obra, es difícil incluirlo en el proceso estándar e interrumpe el flujo de material. Hay mucha frustración en la gerencia del centro de distribución en relación con el apoyo de los procesos de ensamblaje. En general, la gerencia del centro de distribución destaca el papel de los centros de distribución como almacenes y la necesidad de continuar haciendo lo que saben hacer mejor: distribuir.

Sin embargo, la alta gerencia considera que la integración del producto en el almacén es muy valiosa porque permite que los productos genéricos se envíen al centro de distribución y que la configuración final del producto se realice antes de enviarlo al cliente. En lugar de que la fábrica haga productos específicos para un país, es posible producir bienes genéricos y enviarlos a Europa. La gerencia está muy interesada en estudiar el valor de esta estrategia y su aplicación en el caso de las impresoras DeskJet.

Preguntas

1. Elabore un modelo de inventario para manejar las impresoras DeskJet en Europa con la suposición de que la planta de Vancouver aún produce los seis modelos que se venden en Europa. Con la información de la ilustración 17.13 aplique su modelo y calcule la inversión anual esperada en el inventario de impresoras DeskJet en el centro de distribución europeo.
2. Compare los resultados de la pregunta 1 con la política actual de manejar el inventario promedio de un mes en el centro de distribución.
3. Evalúe la idea de suministrar impresoras genéricas al centro de distribución en Europa e integrar el producto empacando el cable de corriente y el manual de instrucciones en el centro de distribución, justo antes de entregarlo a los revendedores europeos. Concéntrese en el impacto sobre la inversión en inventario en el centro de distribución en este análisis.
4. ¿Qué le recomienda a HP?

Fuente: Adaptado de L. Kopczak y H. Lee, "Hewlett-Packard: DeskJet Printer Supply Chain", derechos reservados © 1994 por The Board of Trustees of the Leland Stanford Junior University. Todos los derechos reservados. Reimpreso con autorización de The Stanford Graduate School of Business. Nota: los datos en este caso se modificaron y no reflejan la información real sobre la DeskJet de HP.

Cuestionario

1. Modelo más apropiado para hacer una compra única de un artículo.
2. Modelo más apropiado cuando el inventario se reabastece solo en intervalos fijos, por ejemplo, el primer lunes de cada mes.
3. Modelo más apropiado cuando debe comprarse una cantidad fija cada vez que se coloque un pedido.
4. Con base en el criterio tipo EOQ para colocar un pedido, ¿cuál costo debe llevarse a cero si se desea tener una cantidad de pedido de una sola unidad?
5. Término para describir la demanda que se calcula con precisión para satisfacer la necesidad de un programa de producción, por ejemplo.
6. Término para describir la demanda incierta y que necesita pronosticarse.
7. Se hace un pedido de camisetas para una fiesta de primavera y se venden al doble de lo que se pagó por ellas. Se espera vender 100 camisetas y la desviación estándar asociada al pronóstico es 10 camisetas. ¿Cuántas camisetas se deben pedir?
8. Se tiene un artículo del cual hay existencia en la tienda y tiene una demanda muy constante. El proveedor insiste en vender 1 200 unidades a la vez. El tiempo de espera del artículo es muy breve, pues el proveedor está a unas cuantas cuadras de distancia y se pueden recoger otras 1 200 unidades en cuanto

se agoten. ¿Cuántas unidades se espera tener en inventario en promedio?

9. Para el artículo de la pregunta 8, si se espera vender más o menos 15 600 unidades el año próximo, ¿cuántos viajes es necesario hacer al proveedor en el año?
10. Si se decide tener un inventario de seguridad de 10 unidades del artículo descrito en las preguntas 8 y 9, y se puso esto en práctica al acudir al proveedor cuando quedaban 10 unidades, ¿cuánto inventario cabe esperar tener en promedio ahora?
11. Se efectúa una evaluación con base en el porcentaje de la demanda total satisfecha en el año (no la probabilidad de que se agote, como en el capítulo). Considere un artículo que se maneja con un modelo de cantidad fija de pedido con inventario de seguridad. Se determina duplicar la cantidad de pedido pero dejar sin cambio el punto de pedir de nuevo. ¿Esperaría usted que el porcentaje de demanda total satisfecha el año próximo baje o suba? ¿Por qué?
12. Considere un artículo del que se tienen 120 unidades actualmente en inventario. El promedio de demanda para el artículo es de 60 unidades por semana. El tiempo de espera para el artículo es exactamente dos semanas y hay un inventario de seguridad de 16 unidades. ¿Cuál es la probabilidad de que se agote el artículo si se hace un pedido en este momento?
13. Si se aprovecha un descuento por cantidad, ¿esperaría usted que su promedio de inventario suba o baje? Suponga que sigue igual el criterio de la probabilidad de que se agote.
14. Técnica de auditoría de inventarios conforme a la cual los niveles de inventario se verifican con más frecuencia que una vez al año.

1. Modelo de un solo periodo 2. Modelo de periodo fijo 3. Modelo de cantidad fija de pedido 4. Costo de preparación o de hacer un pedido 5. Demanda dependiente 6. Demanda independiente 7. 100 camisetas 8. 600 unidades 9. 13 viajes 10. 610 unidades 11. Que suba (se toman menos probabilidades de agotar existencias) 12. 50% 13. Tal vez suba si la probabilidad de agotarse sigue igual 14. Conteo de ciclo

Bibliografía seleccionada

Brooks, R. B. y L. W. Wilson, *Inventory Record Accuracy: Unleashing the Power of Cycle Counting,* Essex Junction, Vermont, Oliver Wight, 1993.

Silver, E., D. Pyke y R. Peterson, *Decision Systems for Inventory Management and Production Planning and Control*, 3a. ed., Nueva York, Wiley, 1998.

Sipper, D. y R. L. Bulfin, Jr., *Production Planning, Control, and Integration*, Nueva York, McGraw-Hill, 1997.

Tersine, R. J., *Principles of Inventory and Materials Management,* 4a. ed., Nueva York, North-Holland, 1994.

Vollmann, T. E., W. L. Berry, D. C. Whybark y F. R. Jacobs, *Manufacturing, Planning, and Control Systems for Supply Chain Management,* 5a. ed., Nueva York, McGraw-Hill, 2004.

Wild, T., *Best Practices in Inventory Management,* Nueva York, Wiley, 1998.

Zipkin, P. H., *Foundations of Inventory Management*, Nueva York, Irwin/McGraw-Hill, 2000.

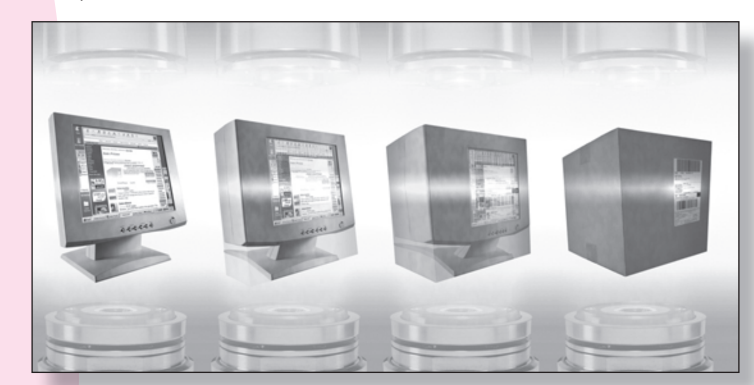
Capítulo 18

PLANIFICACIÓN DE REQUERIMIENTO DE MATERIALES

De la oferta a la demanda

En la década de 1980, la manufactura impulsó a la economía nacional de los sistemas de procesamiento de datos por lotes a los sistemas de procesamiento de transacciones en línea. El foco de atención era la planificación de requerimiento de materiales primero y luego planificación de recursos de manufactura (MRP, por sus siglas en inglés), que después evolucionó a planificación de recursos de la empresa (ERP, por sus siglas en inglés). Fue un largo trayecto, y quienes lo hayan cumplido se merecen un descanso.

Pero los vientos del cambio vuelven a soplar ahora que un nuevo paradigma recorre de prisa la manufactura. En concreto, se trata del cambio de la economía de un modelo de negocios de acumulación de existencias a uno de acumulación de pedidos.



Después de leer este capítulo, usted:

1. Describirá lo que es la MRP y dónde se aplica mejor.
2. Entenderá la fuente de la información empleada por el sistema.
3. Demostrará cómo hacer una "explosión" de la MRP.
4. Explicará cómo calcular cantidades de pedidos en sistemas de MRP.

El eslabón débil del modelo de acumulación de existencias es la administración de inventarios, la cual se remonta a un eslabón todavía más frágil: la dependencia de los pronósticos de ventas. Un modelo de acumulación de pedidos comienza con el pedido, no con el pronóstico. Persiste el antiguo problema de coordinar la adquisición de piezas y elaborar y embarcar el producto.

Ahora se usa el término *administración de flujos* para describir los nuevos sistemas de planificación híbrida que combinan la integración de la información y la capacidad de MRP con la respuesta de un sistema kanban justo a tiempo (JIT). Los principales proveedores de software para MRP, como Oracle, SAP e i2 Technologies, venden estos nuevos sistemas.

Básicamente, el concepto de la administración de flujos es generar una mezcla cambiante de productos basada en los pedidos del momento y realizada con un tránsito continuo de piezas que se suministran justo a tiempo. Es importante no caer en la trampa de pensar que todas estas novedosas palabras representan de verdad algo nuevo. De hecho, los flujos de manufactura combinan cosas que se han usado durante años: en este caso, la combinación de la lógica kanban de JIT, la lógica de la MRP para la planificación de requerimiento de materiales y el sistema ERP de servidor y cliente.

Planificación de requerimientos de materiales (MRP)

El centro de atención aquí es la **planificación de requerimientos de materiales** (**MRP**, por sus siglas en inglés), pieza clave de lógica que enlaza las funciones de producción desde el punto de vista de control y de planificación de material. La MRP es ya casi universal en empresas de manufactura, incluso en las consideradas pequeñas. La razón es que la MRP es un método lógico, que se entiende fácilmente, para el problema de determinar el número de piezas, componentes y materiales necesarios para producir todo artículo final. La MRP también da el programa que especifica cuándo debe pedirse o producirse cada uno de estos artículos.

La MRP se basa en la demanda dependiente, resultado de la demanda de artículos de nivel superior. Por ejemplo, llantas, volantes y motores son piezas de demanda dependiente, basada en la demanda de automóviles.

Determinar el número de piezas de demanda dependiente que se necesitan es más que nada cuestión de multiplicar. Si una pieza A se hace con cinco piezas B, cinco piezas A requieren 25 piezas B. La diferencia básica de la demanda independiente cubierta en el capítulo anterior y la demanda dependiente que se estudia en este capítulo es la siguiente: si la pieza A se vende fuera de la empresa, no se sabe en cuánto se vende. Hay que elaborar un pronóstico con datos anteriores o hacer un análisis del mercado. La pieza A es una pieza independiente. En cambio, la pieza B es dependiente: su uso depende de la pieza A. El número de B que se necesita es el número de A por cinco. Como resultado de esta multiplicación, la necesidad de otras piezas de demanda independiente se vuelve más y más irregular conforme se avanza en la secuencia de la elaboración de los productos. "Irregular" significa que las necesidades aumentan o disminuyen en lugar de mostrar una dispersión uniforme. Esto obedece a la manera en que se hace la manufactura. Cuando se fabrica por lotes, las piezas necesarias para producirlos se sacan de inventario en conjuntos (y quizá todas al mismo tiempo), y no una por una.

Programa maestro de producción

En general, el programa maestro se ocupa de piezas finales y es un insumo importante del proceso de MRP. Pero si la pieza final es grande o cara, el programa puede organizar ensambles o componentes parciales.

Todos los sistemas de producción tienen capacidad y recursos limitados. Esto plantea un trabajo difícil para el programador maestro. Aunque el plan total proporciona un marco general operativo, el programador tiene que especificar exactamente qué se va a producir. Estas decisiones se toman al tiempo que se reacciona a las presiones de diversas áreas funcionales, como el departamento de ventas (cumplir el plazo prometido al cliente), finanzas (reducir al mínimo el inventario), administración (maximizar la productividad y el servicio a clientes, reducir las necesidades de recursos) y manufactura (tener programas uniformes y abreviar los tiempos de preparación).

Para determinar un programa viable y aceptable que se ponga en marcha en la planta, se ejecutan programas de producción de prueba mediante un programa de MRP, que se describe en la sección siguiente. Se verifican las expediciones resultantes de pedidos (programas de producción detallados) para asegurarse de que se tengan los recursos y los tiempos de terminación sean razonables. Puede suceder que un programa maestro que parezca viable al final requiera demasiados recursos en momentos de auge del producto y se determinan las necesidades de materiales, piezas y componentes de niveles inferiores. En este caso (que es lo común), el programa maestro de producción se modifica según estas limitaciones y se ejecuta de nuevo el programa de MRP. Para garantizar un buen programa maestro, el programador (el ser humano) debe:

- Incluir todas las demandas de venta del producto, resurtido de almacén, refacciones y necesidades entre las plantas.
- Nunca perder de vista el plan agregado.
- Comprometerse con los pedidos prometidos al cliente.

- Ser visible en todos los niveles de la administración.
- Equilibrar objetivamente los conflictos de manufactura, marketing e ingeniería.
- Identificar y comunicar todos los problemas.

En la parte superior de la ilustración 18.1 se muestra un plan agregado del número total de colchones planificados para el mes, sin considerar el tipo de colchón. En la parte inferior se proporciona el programa maestro de producción en el que se especifica el tipo exacto de colchón y la cantidad planificada de producción por semana. El siguiente nivel inferior (que no se muestra) sería el sistema de MRP que elabora programas detallados de cuándo se necesitan el relleno de algodón, resortes y madera para hacer los colchones.

Para resumir de nuevo la secuencia de planificación, en el plan agregado de operaciones, que se estudió en el capítulo 16, se especifican los grupos de productos, no los artículos precisos. El siguiente nivel del proceso de planificación es el programa maestro de producción. El **programa maestro de producción (MPS)** es el plan con los tiempos desglosados que especifica cuántas piezas finales va a fabricar la empresa y cuándo. Por ejemplo, el plan agregado de una compañía de muebles especificaría el volumen total de colchones que va a producir el siguiente mes o trimestre. El MPS da el siguiente paso e identifica el tamaño exacto de los colchones, y su calidad y estilo. Los colchones que vende la compañía quedarían especificados en el MPS. El MPS también asienta, periodo por periodo (casi siempre semanal) cuántos colchones de estos tipos se necesitan y cuándo.

Programa maestro de producción

Si se avanza aún más en el proceso de desglose se encuentra el sistema de MRP, que calcula y programa las materias primas, piezas y suministros necesarios para hacer los colchones especificados por la MRP.

RESTRICCIONES DE TIEMPO

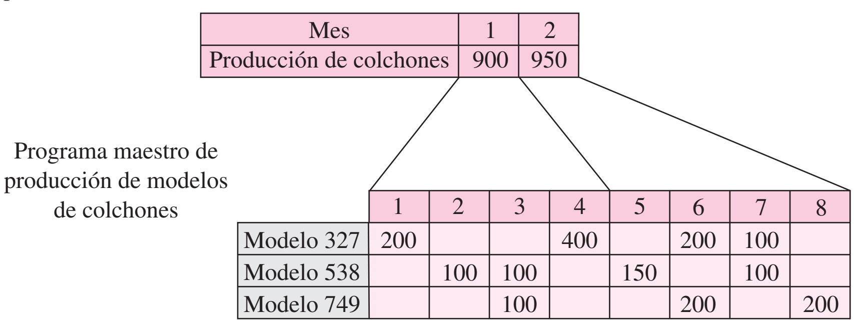
La cuestión de la flexibilidad del programa maestro de producción depende de varios factores: tiempo de espera de producción, compromiso de partes y componentes a una pieza final específica, relación entre el cliente y proveedor, exceso de capacidad, y rechazo o aceptación de la gerencia a hacer cambios.

El propósito de las restricciones de tiempo es mantener un flujo razonablemente controlado por el sistema de producción. Si no se establecen y acatan reglas de operación, el sistema sería caótico, se llenaría de pedidos retrasados y siempre habría prisas.

En la ilustración 18.2 se muestra un ejemplo de restricciones de tiempo para un programa maestro de producción. La administración define las *restricciones de tiempo* como periodos en que los clientes tienen alguna oportunidad de hacer cambios (el cliente puede ser el propio departamento de marketing de la empresa, que planifica las promociones del producto, la ampliación del surtido, o algo parecido). Observe en la ilustración que durante las siguientes ocho semanas el programa maestro está congelado. Cada empresa tiene sus límites y reglas de

ILUSTRACIÓN 18.1 Plan agregado y programa maestro de producción de colchones.

Plan agregado de producción de colchones

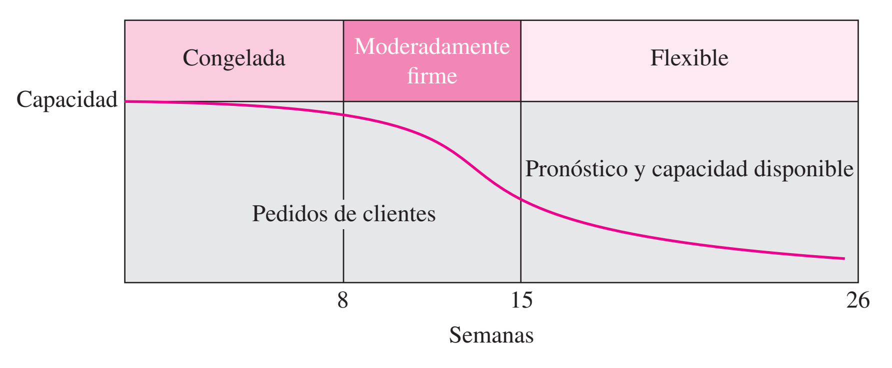


Mes	1	2
Producción de colchones	900	950

Programa maestro de producción de modelos de colchones

	1	2	3	4	5	6	7	8
Modelo 327	200			400		200	100	
Modelo 538		100	100		150		100	
Modelo 749			100			200		200

ILUSTRACIÓN 18.2 Restricciones de tiempo en un programa maestro de producción.



operación. Según estas reglas, *congelado* se define lo mismo como que no hay ningún cambio, en una compañía, que aceptar sólo cambios menores, en otra. *Moderadamente firme* permitiría cambios en productos específicos de un grupo siempre que se tengan las piezas. *Flexible* concedería casi todas las variaciones de los productos con la condición de que la capacidad sea más o menos la misma y que los márgenes de tiempo entre piezas no sean excesivos.

Disponible para prometer

Algunas empresas usan una característica conocida como **disponible para prometer** para las piezas que están en el programa maestro. Esta característica identifica la diferencia entre el número de unidades contenidas en el programa maestro y los pedidos de los clientes. Por ejemplo, suponga que el programa maestro indica que se van a hacer 100 unidades del colchón modelo 538 en la semana siete. Si el cliente de la empresa indica que solo se han vendido 65 colchones, el grupo de ventas tiene otros 35 colchones "disponibles para prometer" la entrega en esa semana. Se trata de una herramienta muy útil para coordinar actividades de ventas y producción.

Dónde se aplica la MRP

La MRP tiene más provecho en las industrias donde varios productos se hacen en lotes con el mismo equipo de producción. En la lista de la ilustración 18.3 hay ejemplos de industrias y beneficios esperados de MRP. Como se desprende de la figura, la MRP se ajusta mejor a las compañías dedicadas a operaciones de ensamble que a las de fabricación. Hay que tomar nota de

ILUSTRACIÓN 18.3 Aplicaciones industriales y beneficios esperados de la MRP.

Tipo de industria	Ejemplos	Beneficios esperados
Ensamblar para existencias	Combina múltiples partes componentes en un producto terminado, que se guarda en inventario para satisfacer la demanda de los clientes. Ejemplos: relojes, herramientas, electrodomésticos.	Grandes
Fabricar para existencias	Los artículos se maquinan, más que armarse. Son existencias que suelen guardarse en anticipación de la demanda de los clientes. Ejemplos: anillos de pistones, alternadores eléctricos.	Escasos
Ensamblar por pedido	Se hace un ensamble final de opciones estándares que escoge el cliente. Ejemplos: camiones, generadores, motores.	Grandes
Fabricar por pedido	Las piezas se maquinan sobre pedido de los clientes. En general se trata de pedidos industriales. Ejemplos: cojinetes, engranes, cinturones.	Escasos
Manufactura por pedido	Las piezas se fabrican o arman completamente según las especificaciones del cliente. Ejemplos: generadores de turbinas, máquinas, herramientas pesadas.	Grandes
Proceso	Abarca industrias como fundiciones, caucho y plásticos, papel especial, productos químicos, pintura, medicina y procesadoras de alimentos.	Regulares

otro punto: MRP no funciona bien en compañías que producen pocas unidades al año. Sobre todo en empresas que fabrican productos caros y complicados que requieren investigación y diseño avanzados, la experiencia demuestra que los márgenes de tiempo son muy tardados e inseguros, y la configuración de los productos es demasiado compleja. Estas compañías requieren las características de control que ofrecen las técnicas de programación en red. Estos métodos de administración de proyectos se cubrieron en el capítulo 10.

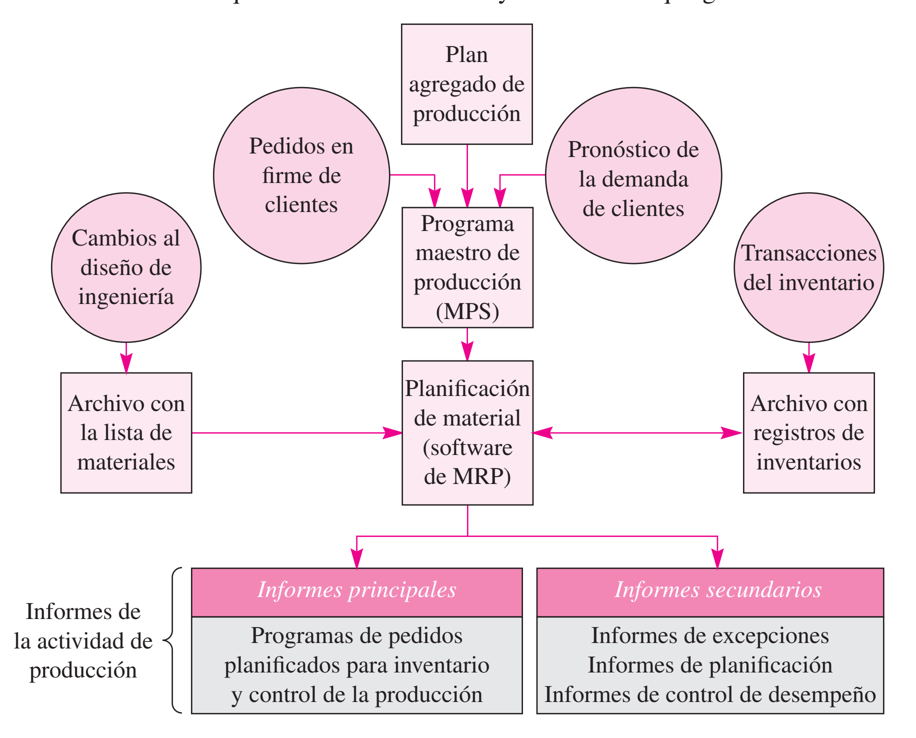
Caterpillar manufactura más de 300 productos en 23 países y atiende a clientes en 200 países. "CAT" depende de la MRP para planificar su inventario de manufactura.

Estructura del sistema de planificación de requerimiento de materiales

El aspecto de planificación de requerimiento de materiales de las actividades de manufactura guarda una relación estrecha con el programa maestro, el archivo con la lista de los materiales y los informes de producción, según se aprecia en la ilustración 18.4.

Cada faceta de la ilustración 18.4 se detalla en las secciones siguientes, pero, en esencia, el sistema de MRP funciona como sigue: el programa maestro de producción señala el número de piezas que se van a producir en tiempos específicos. En un archivo con la *lista de materiales* se especifican los materiales de que consta cada pieza y las cantidades correctas de cada uno. El archivo con el registro de inventarios contiene datos como el número de unidades disponibles y pedidas. Estas tres fuentes (programa maestro de producción, archivo con la lista de materiales y archivo de registros de inventarios) se convierten en las fuentes de datos para el programa de requerimiento de materiales, que despliega el programa de producción en un plan detallado de programación de pedidos para toda la secuencia de la producción.

ILUSTRACIÓN 18.4 Panorámica de los elementos que componen un programa estándar de requerimientos de material y los informes que genera.



DEMANDA DE PRODUCTOS

La demanda de productos terminados proviene sobre todo de dos fuentes. La primera son los clientes conocidos que hacen pedidos específicos, como los que genera el personal de ventas, o de transacciones entre departamentos. Estos pedidos suelen tener una fecha de entrega prometida. No hay que pronosticar estos pedidos: tan solo se agregan. La segunda fuente es la demanda pronosticada, que abarca los pedidos de demanda independiente; los modelos de pronóstico que se presentaron en el capítulo 15 sirven para la predicción de volúmenes. La demanda de los clientes conocidos y la demanda pronosticada se combinan y se convierten en la base para el programa maestro de producción, según se describió en la sección anterior.

Además de la demanda de productos finales, los clientes también hacen pedidos de piezas y componentes como reservas o como refacciones para servicio y reparación. Estas demandas no suelen formar parte del programa maestro de producción, sino que se incorporan al programa de planificación de requerimiento de materiales en los niveles apropiados; es decir, se agregan como necesidad bruta de una pieza o componente.

LISTA DE MATERIALES

Lista de materiales

El archivo con la **lista de materiales (BOM)** contiene la descripción completa de los productos y consigna materiales, piezas y componentes, además de la secuencia en que se elaboran los productos. Esta BOM es uno de los principales elementos del programa de MRP (los otros dos son el programa maestro y el archivo con los registros de inventarios).

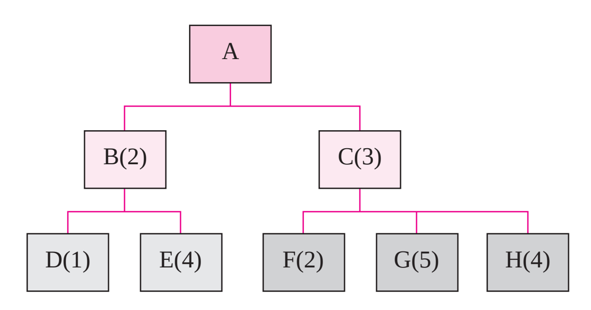
El archivo con la BOM se llama también *archivo de estructura del producto* o *árbol del producto*, porque muestra cómo se arma el producto. Contiene la información para identificar cada artículo y la cantidad usada por unidad de la pieza de la que forma parte. Para ilustrarlo, considere el producto A de la ilustración 18.5*A*. El producto A consta de dos unidades de la pieza B y tres unidades de la pieza C. La pieza B consiste en una unidad de la pieza D y cuatro unidades de la pieza E. La pieza C se fabrica con de dos unidades de la pieza F, cinco unidades de la pieza G y cuatro unidades de la pieza H.

Muchas veces, en la lista de materiales se anotan las piezas con una estructura escalonada. Así se identifica con claridad cada pieza y la manera en que se arma, porque cada escalón representa sus componentes. Una comparación de las piezas escalonadas de la ilustración 18.5*B* con la estructura por piezas de la ilustración 18.5*A* revela la facilidad de relacionar las dos disposiciones. Ahora bien, desde el punto de vista de una computadora, es muy ineficiente guardar las piezas escalonadas. Para calcular el volumen necesario de cada pieza de los niveles inferiores, cada pieza tiene que expandirse y resumirse. Un procedimiento más eficaz es guardar los datos de las piezas en listas de nivel único. Es decir, al anotar cada pieza y componente solo se muestra su antecesor y el número de unidades necesarias por unidad antecesora. Esto evita la duplicación, porque incluye solo una vez cada ensamble. En la ilustración 18.5*B* se muestran las piezas del producto A escalonadas y en nivel único.

Una lista de materiales *modular* se refiere a piezas que se producen y almacenan como partes de un ensamble. También es una pieza estándar de un módulo, sin opciones. Muchas piezas finales que son grandes y caras se programan y controlan mejor como módulos o subensambles. Es en particular ventajoso programar módulos de subensambles idénticos que aparecen en varias piezas distintas. Por ejemplo, un fabricante de grúas combina plumas, transmisiones y motores de diversas maneras para satisfacer las necesidades de los clientes. Usar una lista de materiales modular simplifica la programación y el control, y también facilita el pronóstico del uso de distintos módulos. Otro beneficio de las listas modulares es que si la misma pieza se usa en varios productos, disminuye la inversión total en inventarios.

ILUSTRACIÓN 18.5

A. Lista de materiales (árbol estructural del producto) del producto A.



B. Lista de piezas en formato escalonado y de nivel único.

Lista escalonada de piezas		
A		
	B(2)	
		D(1)
		E(4)
	C(3)	
		F(2)
		G(5)
		H(4)

Lista de nivel único	
A	
	B(2)
	C(3)
B	
	D(1)
	E(4)
C	
	F(2)
	G(5)
	H(4)

Una *superlista* de materiales incluye piezas con opciones fraccionales (por ejemplo, una superlista especifica 0.3 de una pieza, lo que significa que 30% de las unidades producidas contienen esa pieza y 70% no). Las superlistas y las modulares se conocen también como listas de planificación de materiales, pues simplifican el proceso de planificación.

Codificación de nivel inferior Si todas las piezas idénticas están en el mismo nivel de todos los productos finales, se calcula fácilmente el número total de piezas y materiales necesarios para un producto. Considere el producto L de la ilustración 18.6*A*. Observe que, por ejemplo, la pieza N aparece como insumo de L y como insumo de M. Por tanto, la pieza N tiene que ser inferior al nivel 2 (ilustración 18.6*B*) para que todas las N estén en el mismo nivel. Si todas las piezas idénticas se colocan en el mismo nivel, se vuelve mera cuestión de inspeccionar los niveles y resumir el número de unidades que se requieren de cada pieza.

REGISTROS DE INVENTARIO

El archivo de registros de inventarios puede ser muy grande. En la ilustración 18.7 se muestra la variedad de la información contenida en esos registros. El programa de MRP abre el segmento de *estado* del registro de acuerdo con periodos específicos (llamados *racimos de tiempos* en la jerga de MRP). Estos registros se consultan según se necesite durante la ejecución del programa.

Como se verá, el programa de MRP realiza su análisis de la estructura del producto en forma descendente y calcula las necesidades nivel por nivel. Sin embargo, hay ocasiones en que es deseable identificar la pieza antecesora que generó la necesidad material. El programa de MRP permite la creación de *registros indexados*, ya sea en forma separada o como parte del archivo de registros de inventarios. Indexar las necesidades permite rastrearlas en la estructura de productos por cada nivel ascendente e identificar las piezas antecesoras que generaron la demanda.

Archivo de estado del inventario El archivo de estado del inventario se mantiene actualizado al asentar las transacciones del inventario conforme ocurren. Estos cambios se deben a entradas y salidas de existencias, pérdidas por desperdicio, piezas equivocadas, pedidos cancelados, etcétera.

PROGRAMA DE CÓMPUTO PARA LA MRP

El programa de planificación de requerimiento de materiales opera con la información de los registros de inventarios, el programa maestro y la lista de materiales. El proceso de calcular las necesidades exactas de cada pieza que maneja el sistema se conoce como proceso de "explosión". Al continuar en sentido descendente por la lista de materiales, las necesidades de piezas antecedentes se usan para calcular las necesidades de componentes. Se pone atención a los saldos actuales y pedidos programados para recibirse en el futuro.

Lo que sigue es una descripción general del proceso de explosión de la MRP:

1. Se toman del programa maestro las necesidades de piezas del nivel 0, por lo general llamadas "piezas finales". Estas necesidades se conocen como "necesidades brutas" en el programa de MRP. Lo normal es que las necesidades brutas se programen en grupos semanales.

ILUSTRACIÓN 18.6 Jerarquía del producto L en (A) expandida al nivel más bajo de cada pieza en (B).

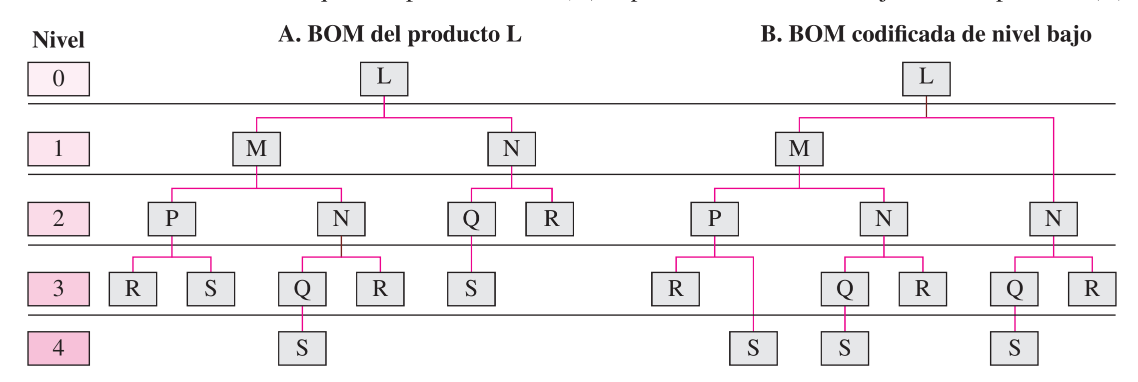


ILUSTRACIÓN 18.7 Registro del estado de una pieza inventariada.

<table>
<tr><td rowspan="3">Segmento maestro de datos de piezas</td><td colspan="2">Núm. pieza</td><td colspan="3">Descripción</td><td colspan="3">Tiempo de entrega</td><td colspan="3">Costo estándar</td><td colspan="2">Inventario de seguridad</td></tr>
<tr><td colspan="3">Volumen del pedido</td><td colspan="2">Preparación</td><td colspan="2">Ciclo</td><td colspan="5">Uso del año pasado</td><td>Clase</td></tr>
<tr><td colspan="3">Margen de desperdicio</td><td colspan="3">Datos de corte</td><td colspan="4">Apuntadores</td><td colspan="3">Etc.</td></tr>
<tr><td rowspan="6">Segmento de estado del inventario</td><td rowspan="2">Asignado</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2">Saldo de control</td><td colspan="8">Periodo</td><td rowspan="2" colspan="2">Totales</td></tr>
<tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td></tr>
<tr><td colspan="2">Necesidades brutas</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">Entradas programadas</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">Saldo disponible proyectado</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">Envíos pedidos planificados</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td rowspan="4">Segmento de datos filiales</td><td colspan="3">Detalles de pedidos</td><td colspan="10"></td></tr>
<tr><td colspan="3">Acciones pendientes</td><td colspan="10"></td></tr>
<tr><td colspan="3">Contadores</td><td colspan="10"></td></tr>
<tr><td colspan="3">Seguimiento</td><td colspan="10"></td></tr>
</table>

2. A continuación, el programa toma los saldos actuales junto con el programa de pedidos que se van a recibir para calcular las "necesidades netas", que son los montos que se necesitan cada semana además de lo que se tiene ahora o se consiguió a través de un pedido puesto y programado.
3. Con las necesidades netas, el programa calcula cuándo deben recibirse los pedidos para satisfacerlas. Puede ser un proceso simple de programar los pedidos para que lleguen según las necesidades netas exactas o un proceso más complicado en el que se combinen las necesidades de varios periodos. Este programa de cuándo deben llegar los pedidos se conoce como "entradas de pedidos planificados".
4. Como cada pedido suele tener un tiempo de entrega, el siguiente paso es calcular un programa para cuando los pedidos se expidan. Esto se consigue al compensar las "entradas de pedidos planificados" con los márgenes de tiempo necesarios. Este programa se llama "expedición de pedidos planificados".
5. Al terminar estos cuatro pasos con todas las piezas de nivel cero, el programa pasa a las piezas del nivel 1.
6. Las necesidades brutas de las piezas del nivel 1 se calculan a partir del programa de expedición de pedidos planificados para las antecesoras de las piezas del nivel 1. Toda demanda adicional independiente también debe incluirse en las necesidades brutas.
7. Después de determinar las necesidades brutas se calculan las necesidades netas, entradas de pedidos planificados y expedición de pedidos planificados según se describió en los pasos 2 a 4.
8. El proceso se repite con cada nivel de la lista de materiales.

Sistemas de cambio neto

La realización de estos cálculos es mucho más simple que su descripción, como se verá en el ejemplo que sigue. Por lo general, los cálculos de la explosión se realizan cada semana o cuando se altera el programa maestro. Algunos programas de MRP tienen la opción de generar calendarios inmediatos, llamados programas de *cambio neto*. Los **sistemas de cambio neto** dependen de las actividades, necesidades y programas que se actualizan cuando se procesa una transacción que repercute en el rubro. El cambio neto permite al sistema reflejar en "tiempo real" el estado exacto de cada pieza que maneja el sistema.

Ejemplo de uso de la MRP

Ampere, Inc., produce una línea de medidores de electricidad que instalan en edificios residenciales compañías de servicios de electricidad para medir el consumo. Los medidores para casas unifamiliares son de dos tipos básicos con diferentes gamas de voltaje y amperaje. Además de medidores completos, algunos subensambles se venden por separado para reparación o para cambios de voltaje o carga de corriente. El problema para el sistema de MRP es determinar un programa de producción que identifique cada pieza, el periodo que se necesita y las cantidades apropiadas. A continuación se verifica la viabilidad del programa y, si es necesario, se modifica.

Pronóstico de la demanda

La demanda de medidores y componentes proviene de dos fuentes: clientes normales que hacen pedidos en firme y clientes indiferenciados que hacen una demanda normal aleatoria de estos artículos. Las necesidades aleatorias se pronosticaron con una de las técnicas usuales descritas en el capítulo 15 y con datos de la demanda anterior. En la ilustración 18.8 se muestran los requisitos de los medidores A y B, y el subensamble D, para un periodo de tres meses (meses tres a cinco). Hay "otras piezas" con que se fabrican los medidores pero no se incluyen en este ejemplo para evitar complicaciones.

Elaboración de un programa maestro de producción

Para las necesidades de los medidores y componentes especificados en la ilustración 18.8 suponga que se debe contar con los volúmenes para satisfacer la demanda conocida y la aleatoria durante la primera semana del mes. Esta suposición es razonable, pues la gerencia (en este ejemplo) prefiere producir medidores en un lote único cada mes y no varios lotes a lo largo del mes.

En la ilustración 18.9 se muestra el programa maestro de prueba que se usó en estas condiciones, con la demanda de los meses 3, 4 y 5 anotados en la primera semana de cada mes, es decir, las semanas 9, 13 y 17. En aras de la brevedad, aquí se trabajará con la demanda hasta la semana 9. Debe examinarse el programa que se va a elaborar para conocer la disponibilidad de

ILUSTRACIÓN 18.8 Requisitos futuros de los medidores A y B, y el subensamble D de pedidos específicos de clientes y fuentes aleatorias.

	Medidor A		Medidor B		Subensamble D	
Mes	Conocido	Aleatorio	Conocido	Aleatorio	Conocido	Aleatorio
3	1 000	250	410	60	200	70
4	600	250	300	60	180	70
5	300	250	500	60	250	70

ILUSTRACIÓN 18.9 Programa maestro para satisfacer las necesidades de la demanda según se especifica en la ilustración 18.8.

	Semana								
	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Medidor A	1 250				850				550
Medidor B	470				360				560
Subensamble D	270				250				320

recursos, disponibilidad de capacidad, etc., y luego debe revisarse y ejecutarse de nuevo, aunque el ejemplo se dará por terminado al final de esta programación única.

LISTA DE MATERIALES (ESTRUCTURA DE PRODUCTOS)

En la ilustración 18.10*A* se muestra la estructura de los medidores A y B a la manera usual de codificación de nivel bajo, en la que cada pieza se sitúa en el nivel más bajo en el que aparece en la jerarquía estructural. Los medidores A y B constan de un subensamble común, C, y algunas piezas, entre las que se cuenta la pieza D. Para que todo sea sencillo, el ejemplo se enfoca solo en una pieza, D, que es un transformador.

Observe en la estructura de productos que la pieza D (el transformador) se usa en el subensamble C (que se utiliza en los medidores A y B). En el caso del medidor A se necesita una pieza D adicional (transformador). El 2 entre paréntesis junto a D cuando se usa para fabricar C indica que se requieren dos D por cada C fabricado. La estructura del producto, así como la lista escalonada de la ilustración 18.10*B*, indican cómo se hacen los medidores. En primer lugar se hace el subensamble C y potencialmente se pasa al inventario. En el proceso final de ensamblado, los medidores A y B se juntan y, en el caso del medidor A, se usa una pieza D adicional.

REGISTROS DE INVENTARIOS

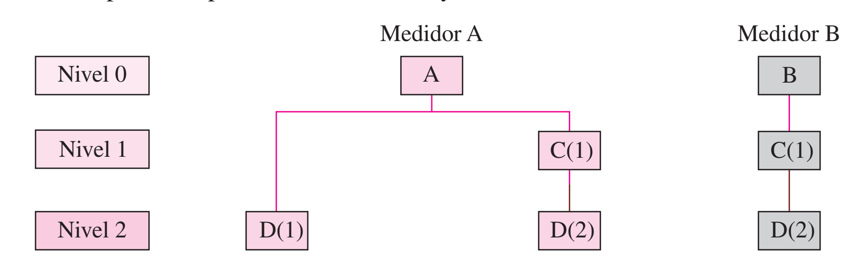
Los datos de los registros de inventarios serían como los que aparecen en la ilustración 18.7. Según se mostró antes, aquí se incluyen datos adicionales, como la identidad del proveedor, costos y tiempo de entrega. En este ejemplo, los datos pertinentes incluyen las existencias al comienzo de la ejecución del programa, las necesidades de inventario de seguridad y el estado actual de los pedidos que ya se terminaron (vea la ilustración 18.11). El inventario de seguridad es el inventario mínimo que se quiere tener siempre de una pieza. Por ejemplo, del subensamble C nunca se quiere que el inventario baje de cinco unidades. También se ve que hay un pedido de 10 unidades del medidor B que está programado para entrada a comienzos de la semana 5. Otro pedido de 100 unidades de la pieza D (el transformador) está programado para llegar a comienzos de la semana 4.

CÁLCULOS DE LA MRP

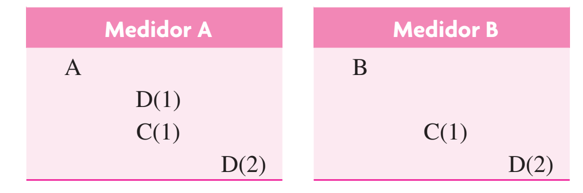
Así se dan las condiciones para realizar los cálculos de MRP: en el programa maestro de producción se presentaron las necesidades de piezas finales, al tiempo que se cuenta con el estado del

ILUSTRACIÓN 18.10

A. Estructura de producto para los medidores A y B.



B. Lista de partes escalonadas para el medidor A y para el medidor B, con la cantidad requerida de piezas por unidad antecesora entre paréntesis.



Medidor A	Medidor B
A	B
D(1)	
C(1)	C(1)
D(2)	D(2)

La ilustración muestra los subensambles y las piezas que componen los medidores y se indica entre paréntesis el número de unidades necesarias por unidad antecesora.

ILUSTRACIÓN 18.11 Unidades en existencia y datos de tiempos de entrega que aparecerían en el archivo de registros de inventarios.

Artículo	Existencias	Tiempo de entrega (semanas)	Inventario de seguridad	Pedido
A	50	2	0	
B	60	2	0	10 (semana 5)
C	40	1	5	
D	200	1	20	100 (semana 4)

inventario y los márgenes de tiempo. También se tienen los datos pertinentes sobre la estructura de los productos. Los cálculos de la MRP (que se conocen como "explosión") se hacen nivel por nivel, junto con los datos del inventario y los del programa maestro.

En la ilustración 18.12 se dan los detalles de estos cálculos. En el análisis siguiente se detalla la lógica. El análisis se limita al problema de satisfacer las necesidades brutas de 1 250 unidades del medidor A, 470 unidades del medidor B y 270 unidades del transformador D, todo en la semana 9.

Se lleva un registro de la MRP de cada pieza que se maneja en el sistema. El registro contiene *necesidades brutas*, *entradas programadas*, *saldo disponible proyectado*, *necesidades netas, entradas de pedidos planificados* y datos sobre *expedición de pedidos planificados*. Las *necesidades brutas* son el volumen total necesario para una pieza en particular. Estos requisitos provienen de la demanda de clientes externos y también de la demanda calculada por las necesidades de manufactura. Las *entradas programadas* representan pedidos que ya se hicieron y que está previsto que lleguen a comienzos del periodo. Cuando se libera la papelería de un pedido, lo que antes era un pedido "planificado" se convierte en una *entrada programada*. El *saldo disponible proyectado* es el monto del inventario que se espera tener a finales del periodo. Se calcula como sigue:

$$\text{Saldo disponible proyectado}_t = \text{Saldo disponible proyectado}_{t-1} - \text{Necesidades brutas}_t + \text{Entradas planificadas}_t + \text{Entradas de pedidos planificados}_t - \text{Inventario de seguridad}$$

Una *necesidad neta* es el monto que se requiere cuando el *saldo disponible proyectado* más las *entradas programadas* en un periodo no bastan para cubrir las *necesidades brutas*. La *entrada de pedidos planificados* es el monto de un pedido que se requiere para satisfacer una necesidad neta en el periodo. Por último, la *expedición de pedidos planificados* es la entrada de pedidos planificados compensada por el tiempo de entrega.

Si se comienza con el medidor A, el saldo disponible proyectado es de 50 unidades y no hay necesidades netas hasta la semana 9. En esa semana 9 se necesitan 1 200 unidades para cubrir la demanda de 1 250 generada por el pedido programado en el programa maestro. La cantidad de pedidos se designa "por lote", lo que significa que se puede ordenar la cantidad exacta para satisfacer las necesidades netas. Por tanto, se planifica un pedido para entradas de 1 200 unidades a comienzos de la semana 9. Como el tiempo de entrega es de dos semanas, este pedido debe expedirse a comienzos de la semana 7.

El medidor B es semejante a A, aunque un pedido de 10 unidades está programado para entrada en el periodo 5. Se proyecta que se tendrán 70 unidades al final de la semana 5. Hay una necesidad neta de 400 unidades adicionales para satisfacer la necesidad neta de 470 unidades en la semana 9. Este requisito se satisface con un pedido de 400 unidades que debe expedirse a comienzos de la semana 7.

La pieza C es un subensamble usado en los medidores A y B. Solo se necesitan más C si se fabrican A o B. En el análisis de A se indica que un pedido de 1 200 se enviará en la semana 7. Un pedido de 400 unidades de B también se entregará esa semana 7, así que la demanda total de C es de 1 600 unidades en la semana 7. El saldo disponible proyectado es de 40 unidades menos el inventario de seguridad de 5 que se especificó, o 35 unidades. En la semana 7, las necesidades

ILUSTRACIÓN 18.12 Programa de planificación de requerimiento de materiales de los medidores A y B, y los subensambles C y D.

Tutorial: MRP

		Semana					
Pieza		4	5	6	7	8	9
A TE = 2 semanas A la mano = 50 Inventario de seguridad = 0 Cantidad pedida = lote por lote	Necesidades brutas						1 250
	Entradas programadas						
	Saldos disponibles proyectados	50	50	50	50	50	50
	Necesidades netas						1 200
	Entradas de pedidos planificados						1 200
	Expedición de pedidos planificados				1 200		
B TE = 2 semanas A la mano = 60 Inventario de seguridad = 0 Cantidad pedida = lote por lote	Necesidades brutas						470
	Entradas programadas		10				
	Saldos disponibles proyectados	60	60	70	70	70	70
	Necesidades netas						400
	Entradas de pedidos planificados						400
	Expedición de pedidos planificados				400		
C TE = 1 semana A la mano = 40 Inventario de seguridad = 5 Cantidad pedida = 2 000	Necesidades brutas				400+ 1 200		
	Entradas programadas						
	Saldos disponibles proyectados	35	35	35	35	435	435
	Necesidades netas				1565		
	Entradas de pedidos planificados				2 000		
	Expedición de pedidos planificados			2 000			
D TE = 1 semana A la mano = 200 Inventario de seguridad = 20 Cantidad pedida = 5 000	Necesidades brutas			4 000	1 200		270
	Entradas programadas	100					
	Saldos disponibles proyectados	180	280	280	1 280	80	80
	Necesidades netas			3 720			190
	Entradas de pedidos planificados			5 000			5 000
	Expedición de pedidos planificados		5 000			5 000	

netas son de 1 565 unidades. La política de pedidos de C indica un volumen de pedido de 2 000 unidades, así que se planifica una entrada de pedidos de 2 000 para la semana 7. Este pedido tiene que hacerse en la semana 6 debido al tiempo de entrega de una semana. Si se supone que el pedido en realidad se procesa en el futuro, el saldo proyectado es de 435 unidades en las semanas 7, 8 y 9.

La pieza D, el transformador, tiene una demanda de tres fuentes. La demanda de la semana 6 se debe a la necesidad de poner piezas D en el subensamble C. En este caso se requieren dos D por cada C, es decir, 4 000 unidades (la estructura del producto indica que es una relación de dos a uno). En la séptima semana se necesitan 1 200 D para el pedido de 1 200 A programado

para la semana 7. Hacen falta otras 270 unidades en la semana 9 para satisfacer la demanda independiente establecida en el programa maestro. El saldo disponible proyectado al final de la semana 4 es de 280 unidades (200 en existencias más la entrada proyectada de 100 unidades menos el inventario de seguridad de 20 unidades) y 280 unidades en la semana 5. Hay una necesidad neta de otras 3 720 unidades en la semana 6, así que se planifica recibir un pedido de 5 000 unidades (el volumen del pedido). Esto da por resultado un saldo proyectado de 80 en la semana 7, pues se usan 1 200 para satisfacer la demanda. Se proyectan 80 unidades para disposición en la semana 8. Debido a la demanda de 270 unidades en la semana 9, una necesidad neta de 190 unidades en la semana 9 lleva a la planificación de la entrada de otro pedido de 5 000 unidades en la semana 9.

EJEMPLO 18.1: Cálculos de explosión de la MRP

Paso por paso

Juno Lighting fabrica focos especiales, populares en los hogares nuevos. Juno espera que la demanda de dos focos populares sea la siguiente en las próximas ocho semanas:

	Semana							
	1	2	3	4	5	6	7	8
VH1-234	34	37	41	45	48	48	48	48
VH2-100	104	134	144	155	134	140	141	145

Un componente fundamental del producto es un casquillo al que se enroscan los focos en una base. Cada foco viene con un casquillo. Con la siguiente información planee la producción de los focos y las compras de casquillos.

	VH1-234	VH2-100	Casquillo del foco
Existencias	85	358	425
Cantidad	200 (tamaño del lote de producción)	400 (tamaño del lote de producción)	500 (cantidad comprada)
Tiempo de entrega	1 semana	1 semana	3 semanas
Inventario de seguridad	0 unidades	0 unidades	20 unidades

Solución

Pieza		Semana 1	2	3	4	5	6	7	8
VH1-234	Necesidades brutas	34	37	41	45	48	48	48	48
Cantidad = 200	Entradas programadas								
TE = 1	Saldo disponible proyectado	51	14	173	128	80	32	184	136
Existencias = 85	Necesidades netas			27				16	
IS = 0	Entradas de pedidos planificados			200				200	
	Expedición de pedidos planificados		200				200		
VH2-100	Necesidades brutas	104	134	144	155	134	140	141	145
Cantidad = 400	Entradas programadas								
TE = 1	Saldo disponible proyectado	254	120	376	221	87	347	206	61
Existencias = 385	Necesidades netas			24			53		
IS = 0	Entradas de pedidos planificados			400			400		
	Expedición de pedidos planificados		400			400			
Casquillo	Necesidades brutas		600			400	200		
Cantidad = 500	Entradas programadas	500							
TE = 3	Saldo disponible proyectado	905	305	305	305	405	205	205	205
Existencias = 425	Necesidades netas					95			
IS = 20	Entradas de pedidos planificados					500			
	Expedición de pedidos planificados			500					

La mejor manera de proceder es trabajar por periodo y concentrarse en el cálculo del saldo disponible. Si el saldo disponible es menor que cero, se genera una necesidad neta. Cuando ocurre así, se planifica una entrada de pedido para satisfacer la necesidad. Por ejemplo, para VH1 se empieza con 85 unidades en existencia y se necesitan 34 para satisfacer las necesidades de producción de la semana 1. Con esto el saldo disponible al final de la semana 1 pasa a 51 unidades. Se usan otras 37 unidades durante la semana 2, lo que reduce el inventario a 14. En la semana 3, el saldo proyectado baja a cero y se tiene una necesidad neta de 27 unidades que hay que cubrir con un pedido programado para recibir en la semana 3. Como el tiempo de entrega es de una semana hay que expedir este pedido en la semana 2. El saldo proyectado en la semana 4 es de 128, que se calcula al tomar las 200 unidades que se recibieron en la semana 3 y restar la necesidad neta de esta semana de 27 unidades y la de 45 unidades en la semana 4.

Como los casquillos se usan en VH1 y VH2, las necesidades brutas vienen de la expedición de pedidos para estas piezas: 600 se necesitan en la semana 2 (200 para VH1 y 400 para VH2), 400 en la semana 5 y 200 en la semana 6. El saldo disponible proyectado es un inventario inicial de 425 más las entradas programadas de 500 unidades menos las 20 unidades del inventario de seguridad. ●

Tamaño de lote en los sistemas de MRP

Determinar los tamaños de lote en un sistema MRP es un problema complicado y difícil. Los tamaños de lote son las cantidades de piezas emitidas en la entrada de pedidos planificados y las secciones de expedición de pedidos planificados de un programa MRP. En el caso de las piezas producidas internamente, los tamaños de lote son las cantidades de producción de los tamaños de lote. En cuanto a las piezas compradas, se refiere a las cantidades pedidas al proveedor. Los tamaños de lote por lo común cumplen con los requisitos de las piezas durante uno o más periodos.

La mayoría de las técnicas para determinar los tamaños de lote se refiere a equilibrar los costos de preparación o los costos de pedidos y mantener los costos asociados al cumplimiento de los requisitos netos generados por el proceso de MRP. Muchos sistemas MRP tienen opciones para calcular los tamaños de lote basadas en las técnicas más comunes. Las técnicas para determinar los tamaños de lote aumentan la complejidad de ejecutar programas de MRP en una planta. En un esfuerzo por ahorrar costos de preparación se debe almacenar el inventario generado con las necesidades de tamaños de lote más grandes, lo que complica mucho más la logística de la planta.

A continuación se explican las cuatro técnicas de determinación de tamaños de lote con un ejemplo común. Las técnicas presentadas son por lote (L4L), cantidad de pedido económico (EOQ), costo total mínimo (CTM) y costo unitario mínimo (CUM).

Considere el siguiente problema de determinación de tamaños de lote en la MRP; se presentan las necesidades netas de ocho semanas del programa:

Costo por pieza					$10.00		
Costo del pedido o de preparación					$47.00		
Costo de llevar el inventario/semana					0.5%		
Necesidades netas semanales:							
1	2	3	4	5	6	7	8
50	60	70	60	95	75	60	55

LOTE POR LOTE

La técnica lote por lote (L4L) es la más común, y:

- Establece pedidos planificados que corresponden exactamente con las necesidades netas.
- Produce exactamente lo necesario cada semana sin transferencia a periodos futuros.
- Reduce al mínimo el costo.
- No toma en cuenta los costos de preparación ni las limitaciones de capacidad.

En la ilustración 18.13 se muestran los cálculos lote por lote. Las necesidades netas aparecen en la columna 2. Como la lógica por lote indica que la cantidad de producción (columna 3) corres-

ILUSTRACIÓN 18.13 Tamaño de corrida lote por lote para un programa de MRP.

(1) Semana	(2) Necesidades netas	(3) Cantidad de producción	(4) Inventario final	(5) Costo de llevar el inventario	(6) Costo de preparación	(7) Costo total
1	50	50	0	$0.00	$47.00	$ 47.00
2	60	60	0	0.00	47.00	94.00
3	70	70	0	0.00	47.00	141.00
4	60	60	0	0.00	47.00	188.00
5	95	95	0	0.00	47.00	235.00
6	75	75	0	0.00	47.00	282.00
7	60	60	0	0.00	47.00	329.00
8	55	55	0	0.00	47.00	376.00

ponde exactamente a la cantidad requerida (columna 2), no quedará inventario al final (columna 4). Sin inventario que transferir a la semana siguiente, el costo de mantenimiento de inventario es cero (columna 5). Sin embargo, la técnica lote por lote requiere un costo de preparación cada semana (columna 6). Cabe mencionar que hay un costo de reparar cada semana porque se trata de un centro de trabajo dedicado a una serie de piezas cada semana. No se trata de un centro de trabajo donde solo se trabaja en un producto y permanece al mínimo cuando no se trabaja en ese producto (en cuyo caso solo resultaría una preparación). La técnica lote por lote genera costos de preparación altos.

CANTIDAD DE PEDIDO ECONÓMICA

En el capítulo 17 se analizó el modelo EOQ que equilibra explícitamente los costos de preparación y retención. En un modelo EOQ debe existir una demanda más o menos constante o mantenerse un inventario de seguridad a fin de responder ante una variabilidad de la demanda. En el modelo EOQ se utiliza un estimado de la demanda anual total, el costo de preparación o pedido y el costo anual de mantener el inventario. El diseño de EOQ no es para un sistema con periodos discretos, como la MRP. Las técnicas de determinación de tamaños de lote para MRP suponen que al principio del periodo se satisfacen las necesidades de las piezas. Más adelante, los costos de llevar el inventario solo se cargan al inventario final del periodo, no al inventario promedio, como en el caso del modelo EOQ. La EOQ supone que las piezas se usan continuamente durante el periodo. Los tamaños de lote generados por la EOQ no siempre abarcan el número completo de periodos. Por ejemplo, la EOQ puede cubrir las necesidades de 4.6 periodos. Con los mismos datos del ejemplo de la técnica por lote, la cantidad de pedido económica se calcula como sigue:

$$\text{Demanda anual basada en las 8 semanas} = D = \frac{525}{8} \times 52 = 3\,412.5 \text{ unidades}$$

$$\text{Costo anual de mantener el inventario} = H = 0.5\% \times \$10 \times 52 \text{ semanas} = \$2.60 \text{ por unidad}$$

$$\text{Costo de preparación} = S = \$47 \text{ (determinado)}$$

$$\therefore \text{EOQ} = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(3\,412.5)(\$47)}{\$2.60}} = 351 \text{ unidades}$$

En la ilustración 18.14 se muestra el programa de MRP con una EOQ de 351 unidades. El tamaño del lote EOQ en la semana 1 basta para cubrir las necesidades de las semanas 1 a 5, y parte de la semana 6. Después, en la semana 6 se planifica otra EOQ para cubrir las necesidades de las semanas 6 a 8. Cabe notar que en el plan de EOQ queda un poco de inventario al final de la semana 8 que se transfiere a la semana 9.

COSTO TOTAL MÍNIMO

El método del costo total mínimo (CTM) es una técnica dinámica de determinación de tamaños de lote que calcula la cantidad de pedidos al comparar el costo de llevar el inventario y los costos

ILUSTRACIÓN 18.14 Tamaño de corrida de cantidad de pedido económica para un programa de MRP.

Semana	Necesidades netas	Cantidad de producción	Inventario final	Costo de llevar el inventario	Costo de preparación	Costo total
1	50	351	301	$15.05	$47.00	$62.05
2	60	0	241	12.05	0.00	74.10
3	70	0	171	8.55	0.00	82.65
4	60	0	111	5.55	0.00	88.20
5	95	0	16	0.80	0.00	89.00
6	75	351	292	14.60	47.00	150.60
7	60	0	232	11.60	0.00	162.20
8	55	0	177	8.85	0.00	171.05

de preparación (o pedido) de varios tamaños de lote, y después selecciona el lote en el que son casi iguales.

En la parte superior de la ilustración 18.15 se muestran los resultados del tamaño de lote de costo mínimo. El procedimiento para calcular los tamaños de lote del costo total mínimo es comparar los costos de pedidos y de retención (es decir, de llevar el inventario) durante varias semanas. Por ejemplo, se compararon los costos de producción de la semana 1 para cubrir las necesidades de esa semana; la producción de la semana 1 para las semanas 1 y 2; la producción de la semana 1 para cubrir las semanas 1, 2 y 3, y así sucesivamente. La selección correcta es el tamaño del lote en el que los costos de pedidos y de retención son más o menos iguales. En la ilustración 18.15, el mejor tamaño de lote es 335 porque un costo de retención de $38 y un costo por pedido de $47 se aproximan más a $56.75 y $47 ($9 comparado con $9.75). Este tamaño de lote cubre las necesidades de las semanas 1 a 5. A diferencia del EOQ, el tamaño de lote solo cubre periodos enteros.

Con base en la decisión en la semana 1 de hacer un pedido para cubrir cinco semanas, se llega a la semana 6 y el problema es determinar cuántas semanas se pueden abastecer en el futu-

ILUSTRACIÓN 18.15 Tamaño de corrida de costo total mínimo para un programa de MRP.

Semanas	Cantidad pedida	Costo de mantener inventario	Costo de pedido	Costo total	
1	50	$0.00	$47.00	$47.00	
1-2	110	3.00	47.00	50.00	
1-3	180	10.00	47.00	57.00	
1-4	240	19.00	47.00	66.00	1er. pedido
1-5	335	38.00	47.00	85.00	← Costo total mínimo
1-6	410	56.75	47.00	103.75	
1-7	470	74.75	47.00	121.75	
1-8	525	94.00	47.00	141.00	
6	75	0.00	47.00	47.00	
6-7	135	3.00	47.00	50.00	2o. pedido
6-8	190	8.50	47.00	55.50	← Costo total mínimo

Semana	Necesidades netas	Cantidad de producción	Inventario final	Costo de mantener	Costo de preparación	Costo total
1	50	335	285	$14.25	$47.00	$ 61.25
2	60	0	225	11.25	0.00	72.50
3	70	0	155	7.75	0.00	80.25
4	60	0	95	4.75	0.00	85.00
5	95	0	0	0.00	0.00	85.00
6	75	190	115	5.75	47.00	137.75
7	60	0	55	2.75	0.00	140.50
8	55	0	0	0.00	0.00	140.05

ro a partir de ese momento. En la ilustración 18.15 se muestra que los costos de retención y de pedidos son los más próximos a la cantidad que cubre las necesidades de las semanas 6 a 8. Se observa que los costos de retención y de pedidos se alejan. Lo anterior se debe a que el ejemplo solo se extiende hasta la semana 8. Si el horizonte de planificación fuera más largo, el tamaño de lote planificados para la semana 6 quizás abarcaría más semanas posteriores a la semana 8. Esto genera una de las limitaciones del CTM y CUM (estudiados más adelante). La duración del horizonte de la planificación influye en ambas técnicas. En la mitad inferior de la ilustración 18.15 se muestra el tamaño final de la corrida y el costo total.

COSTO UNITARIO MÍNIMO

El método de costo unitario mínimo es una técnica dinámica para determinar tamaños de lote que incluye el costo de transferencia de pedidos e inventario de cada tamaño de lote de prueba y se divide entre el número de unidades de cada tamaño de lote, seleccionando el tamaño de lote con el costo unitario más bajo. En la mitad superior de la ilustración 18.16 se calcula el costo unitario de pedir lotes para cubrir las necesidades de las semanas 1 a 8. Observe que el mínimo ocurrió cuando la cantidad 410, pedida en la semana 1, fue suficiente para cubrir las semanas 1 a 6. El tamaño de lote planificado para la semana 7 cubre hasta el final del horizonte de planificación.

El tamaño de corrida del costo unitario mínimo y el costo total se muestran en la mitad inferior de la ilustración 18.16.

ELECCIÓN DEL MEJOR TAMAÑO DE LOTE

Con el método lote por lote, el costo total de las ocho semanas es de $376; el costo total de EOQ es de $171.05; el método del costo total mínimo es de $140.50, y el costo unitario mínimo es de $153.50. El costo más bajo, $140.50, se obtuvo con el método de costo total mínimo. Si hubiera más de ocho semanas, el costo más bajo podría ser diferente.

ILUSTRACIÓN 18.16 Tamaño de corrida de costo unitario mínimo para un programa de MRP.

Semanas	Cantidad pedida	Costo de mantener inventario	Costo de pedido	Costo total	Costo unitario	
1	50	$0.00	$47.00	$47.00	$0.9400	
1-2	110	3.00	47.00	50.00	0.4545	
1-3	180	10.00	47.00	57.00	0.3167	
1-4	240	19.00	47.00	66.00	0.2750	
1-5	335	38.00	47.00	85.00	0.2537	
1-6	410	56.75	47.00	103.75	0.2530	← 1er. pedido
1-7	470	74.75	47.00	121.75	0.2590	Costo unitario mínimo
1-8	525	94.00	47.00	141.00	0.2686	
?	60	0.00	47.00	47.00	0.7833	2o. pedido
7-8	115	2.75	47.00	49.75	0.4326	← Costo unitario mínimo

Semana	Necesidades netas	Cantidad de producción	Inventario final	Costo de mantener	Costo de preparación	Costo total
1	50	410	360	$18.00	$47.00	$65.00
2	60	0	300	15.00	0.00	80.00
3	70	0	230	11.50	0.00	91.50
4	60	0	170	8.50	0.00	100.00
5	95	0	75	3.75	0.00	103.75
6	75	0	0	0	0	103.75
7	60	115	55	2.75	47.00	153.50
8	55	0	0	0	0	$153.50

La ventaja del método del costo unitario mínimo es que es un análisis más completo y tomaría en consideración los costos del pedido o la preparación que podrían cambiar conforme aumentara el tamaño del pedido. Si los costos del pedido o la preparación se mantienen constantes, el método del costo total más bajo es más atractivo porque es más simple y fácil de calcular, y, sin embargo, sería igual de preciso con tal restricción.

Resumen

Desde la década de 1970, la MRP se amplió a partir de su propósito original de determinar los programas de tiempo simples para la producción y adquisición del material hasta su uso actual como parte integral de la planificación de recursos empresariales que conjunta las funciones más importantes de una empresa. La MRP ha demostrado ser una plataforma flexible y adaptable a muchas situaciones, como la manufactura repetitiva con sistemas justo a tiempo.

En este capítulo se abarcan los conceptos básicos para entender la MRP. El motor de la MRP toma la información de un programa maestro, que es un plan detallado para la producción futura. El programa maestro, conforme a las necesidades de la empresa, se establece en términos de productos individuales, productos genéricos o módulos y subensambles. El programa maestro forma parte del proceso de planificación de operaciones y ventas, crítico para poner en práctica con éxito la estrategia de operaciones de la empresa.

La lista de materiales describe la forma exacta en que una empresa prepara los elementos en el programa maestro. La "estructura" de la lista de materiales (a veces conocida como "estructura de productos") captura cómo las materias primas y las piezas compradas conforman subensambles y estos, a su vez, forman los elementos del programa maestro.

El proceso de "explosión" de la MRP es el corazón del sistema. Con el programa maestro y la lista de materiales, aunado al estado de inventario actual (volúmenes en existencia y pedidos) de cada parte de la lista de materiales, los programas detallados se calculan a fin de mostrar los tiempos exactos de piezas que se necesitan en el futuro. En una empresa común, este proceso requiere un esfuerzo de cálculo significativo que incluya literalmente miles de programas detallados.

En este capítulo se tocó el tema importante de cómo considerar los costos relacionados con el inventario. Se describieron varias reglas comunes para determinar tamaños de lote de la MRP que tomen en cuenta el equilibrio entre el costo fijo y el costo variable, importante para reducir al mínimo los costos de inventario.

Conceptos clave

Planificación de requerimientos de materiales (MRP) Lógica con que se determina el número de piezas, componentes y materiales necesarios para fabricar un producto. La MRP también proporciona el programa que especifica cuándo se debe pedir o producir cada material, pieza y componente.

Programa maestro de producción (MPS) Plan con fases de tiempo que especifica cuánto y cuándo piensa crear la empresa cada pieza final.

Disponible para prometer Característica de los sistemas de planificación de requerimientos de materiales que identifica la diferencia entre el número de unidades incluido en un momento dado en el programa maestro y los pedidos de clientes reales (empresa).

Lista de materiales (BOM) Archivo de computadora que contiene la descripción completa del producto, listado de materiales, piezas y componentes, y la secuencia en que se crea un producto.

Sistema de cambio neto Sistema de MRP que calcula de inmediato el impacto de un cambio en los datos de la MRP (estado del inventario, BOM o programa maestro). Es una característica común de los sistemas actuales.

Problemas resueltos

Excel: Problema resuelto

Problema resuelto 1

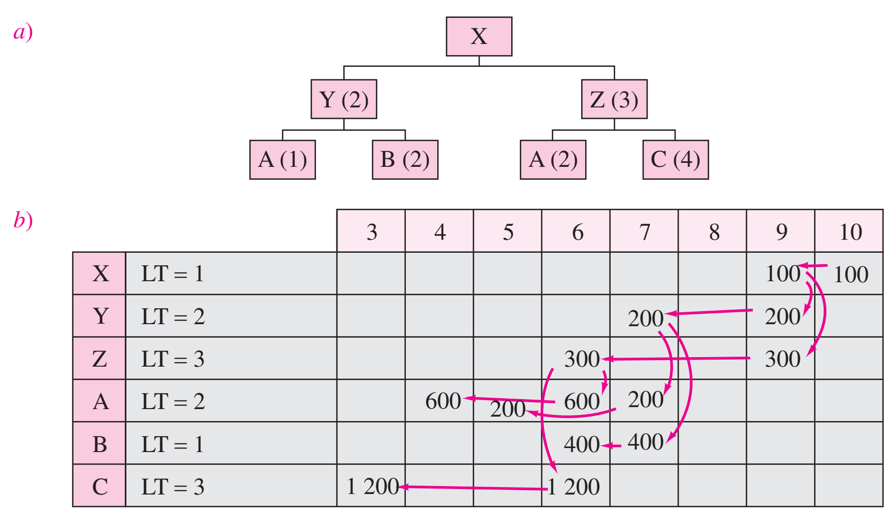
El producto X está hecho de dos unidades de Y y tres de Z. Y consiste en una unidad de A y dos unidades de B; Z, de dos unidades de A y cuatro unidades de C.

El tiempo de entrega de X es una semana; Y, dos semanas; Z, tres semanas; A, dos semanas; B, una semana, y C, tres semanas.

a) Trace la lista de materiales (árbol estructural del producto).
b) Si se requieren 100 unidades de X en la semana 10 elabore un programa de planificación que muestre cuándo debe solicitarse cada artículo y en qué cantidad.

Solución

a)



b)

		3	4	5	6	7	8	9	10
X	LT = 1							100	100
Y	LT = 2					200		200	
Z	LT = 3				300			300	
A	LT = 2		600	200	600	200			
B	LT = 1				400	400			
C	LT = 3	1 200			1 200				

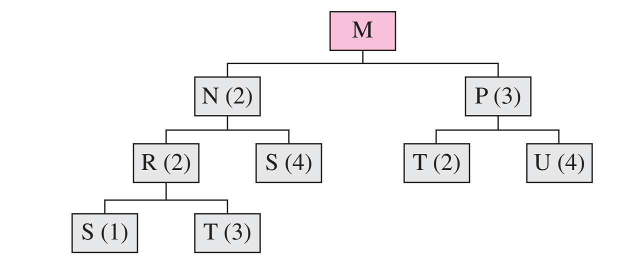
Problema resuelto 2

El producto M se obtiene de dos unidades de N y tres unidades de P. N se obtiene de dos unidades de R y cuatro unidades de S. R se obtiene de una unidad de S y tres unidades de T. P se obtiene de dos unidades de T y cuatro unidades de U.

a) Muestre la lista de materiales (árbol estructural del producto).
b) Si se necesitan 100 M, ¿cuántas unidades se necesitan de cada pieza?
c) Muestre la lista de componentes de un solo nivel y la lista escalonada de piezas.

Solución

a)



b) M = 100 S = 800 + 400 = 1 200
N = 200 T = 600 + 1 200 = 1 800
P = 300 U = 1 200
R = 400

c)

Lista de piezas de un solo nivel

M	
	N(2)
	P(3)
N	
	R(2)
	S(4)
R	
	S(1)
	T(3)
P	
	T(2)
	U(4)

Lista escalonada de piezas

M			
	N(2)		
		R(2)	
			S(1)
			T(3)
		S(4)	
	P(3)		
		T(2)	
		U(4)	

Preguntas de repaso y análisis

1. Analice el significado de términos de la MRP como *expedición de pedidos planificados* y *entrada de pedidos programados*.
2. Muchos profesionales actualizan la MRP cada semana o cada quince días. ¿Valdría más si se actualizara a diario? Comente.
3. ¿Cuál es la función del inventario de seguridad en un sistema MRP?
4. Compare la importancia del término *tiempo de entrega* en el contexto de EOQ tradicional y en un sistema de MRP.
5. Analice la importancia del programa maestro de producción en un sistema MRP.
6. "La MRP nada más prepara listas de compras. No hace las compras ni prepara la cena." Comente.
7. ¿Cuáles son las fuentes de demanda de un sistema MRP. ¿Son dependientes o independientes? ¿Cómo se usan como entradas al sistema?
8. Establezca los tipos de datos que se transferirían al archivo de la lista de materiales y al archivo de registros de inventarios.

Problemas

1. Semans es un fabricante de ensambles de abrazaderas. La demanda de ensambles de abrazaderas (X) es de 130 unidades. Se da a continuación la BOM escalonada:

Pieza	Descripción	Uso
X	Ensamble de abrazaderas	1
A	Tablero de pared	4
B	Subensamble de gancho	2
D	Moldeado de gancho	3
E	Perilla de cerámica	1
C	Tornillo de remache	3
F	Pinza metálica	4
G	Tapa de plástico	2

La tabla a continuación indica los niveles de inventario:

Pieza	X	A	B	C	D	E	F	G
Inventario	25	16	60	20	180	160	1 000	100

a) Con Excel, cree la MRP con la estructura de árbol de producto.
b) ¿Cuáles son las necesidades netas de cada pieza en el programa maestro de producción?

2. En el siguiente programa de MRP de la pieza J indique las necesidades netas correctas, entradas de pedidos planificados y expedición de pedidos planificados para cumplir con las necesidades brutas. El tiempo de entrega es de una semana.

	Número de semana					
Componente J	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Necesidades brutas			75		50	70
Existencias	40					
Necesidades netas						
Entradas de pedidos planificados						
Expedición de pedidos planificados						

3. Repita el problema resuelto 1 con inventarios disponibles actuales de 20 X, 40 Y, 30 Z, 50 A, 100 B y 900 C.
4. Suponga que el producto Z se obtiene de dos unidades de A y cuatro unidades de B. A se obtiene de tres unidades de C y cuatro de D. D se obtiene de dos unidades de E.

   Los tiempos de entrega para la compra o fabricación de cada unidad para el ensamble final son: Z tarda dos semanas, A, B, C y D tardan una semana cada una y E tarda tres semanas.

En el periodo 10 se necesitan 50 unidades (suponga que actualmente no hay existencias de ninguna pieza).

a) Presente la lista de materiales (árbol estructural del producto).

b) Prepare un programa de MRP que muestre las necesidades brutas y netas y las fechas de expedición y entradas de pedidos.

5. *Nota*: Para los problemas 5 a 10, con el fin de simplificar el manejo de datos y que se incluya la entrada de pedidos de periodos anteriores, use el siguiente esquema de seis niveles (en la práctica se usan diferentes técnicas, pero lo importante es llevar un seguimiento de lo que hay en existencias, qué se espera que llegue, qué se necesita y el tamaño de los pedidos que se deben hacer). Una forma de calcular las cifras es la siguiente:

	Semana
Necesidades brutas	
Entradas programadas	
Saldo disponible proyectado	
Necesidades netas	
Entradas de pedidos planificados	
Expedición de pedidos planificados	

Una unidad de A se obtiene de tres unidades de B, una unidad de C y dos unidades de D. B consta de dos unidades de E y una unidad de D. C se obtiene de una unidad de B y dos unidades de E. E se obtiene de una unidad de F.

Las piezas B, C, E y F tienen tiempos de entrega de una semana; A y D tienen tiempos de entrega de dos semanas.

Suponga que se aplica la técnica lote por lote (L4L) para determinar el tamaño de lote de las piezas A, B y F; se usan los tamaños de lote 50, 50 y 200 para las piezas C, D y E, respectivamente. Las piezas C, E y F tienen existencias (iniciales) de 10, 50 y 150, respectivamente; las demás piezas tienen existencias iniciales de cero. Se programa la entrada de 10 unidades de A en la semana 2, 50 unidades de E en la semana 1 y 50 unidades de F en la semana 1. No hay más entradas programadas. Si en la semana 8 se necesitan 30 unidades de A, use la lista de materiales con codificación del nivel inferior para encontrar las expediciones de pedidos planificados necesarios para todas las piezas.

6. La unidad A se obtiene de dos unidades de B, tres unidades de C y dos unidades de D. B consta de una unidad de E y dos unidades de F. C se obtiene de dos unidades de F y una unidad de D. E se obtiene de dos unidades de D. Las piezas A, C, D y F tienen tiempos de entrega de una semana; B y E tienen tiempos de entrega de dos semanas. Se aplica la técnica lote por lote (L4L) para determinar el tamaño de lote de las piezas A, B, C y D; se usan los tamaños de lote de 50 y 180 para las piezas E y F, respectivamente. La pieza C tiene existencias (iniciales) de 15; D tiene existencias de 50; las demás piezas tienen existencias iniciales de cero. Se programa la entrada de 20 unidades de la pieza E en la semana 2; no hay más entradas programadas.

Prepare listas de materiales (árboles estructurales del producto) simples y con codificación del nivel inferior, y listas de piezas escalonadas y resumidas.

Si en la semana 8 se necesitan 20 unidades de A, use la lista de materiales con codificación de nivel inferior para encontrar las expediciones de pedidos planificados necesarias para todos los componentes. (Vea la nota del problema 5.)

7. Una unidad de A se obtiene de una unidad de B y una unidad de C. B se obtiene de cuatro unidades de C y una unidad de E y de F. C se obtiene de dos unidades de D y una unidad de E. E se obtiene de tres unidades de F. La pieza C tiene un tiempo de entrega de una semana; las piezas A, B, E y F tienen tiempos de entrega de dos semanas, y la pieza D tiene un tiempo de entrega de tres semanas. Se aplica la técnica lote por lote para determinar el tamaño de lote de las piezas A, D y E; se usan los tamaños de lote 50, 100 y 50 para las piezas B, C y F, respectivamente. Las piezas A, C, D y E tienen existencias (iniciales) de 20, 50, 100 y 10, respectivamente; las demás tienen existencias iniciales de cero. Se programa la entrada de 10 unidades de A en la semana 1, 100 unidades de C en la semana 1 y 100 unidades de D en la semana 3; no hay más entradas programadas. Si en la semana 10 se necesitan 50 unidades de A, use la lista de materiales (árbol estructural del producto) con codificación de nivel inferior para encontrar las expediciones de pedidos planificados necesarias para todos los componentes. (Vea la nota del problema 5.)

8. Una unidad de A se obtiene de dos unidades de B y una unidad de C. B se obtiene de tres unidades de D y una unidad de F. C consta de tres unidades de B y una unidad de D y cuatro unidades de E. D se obtiene de una unidad de E. La pieza C tiene un tiempo de entrega de una semana; las piezas A, B, E y

F tienen tiempos de entrega de dos semanas; y la pieza D tiene un tiempo de entrega de tres semanas. Se aplica la técnica lote por lote para determinar el tamaño de lote de las piezas C, E y F; se usan los tamaños de lote 20, 40 y 160 para las piezas A, B y D, respectivamente. Las piezas A, B, D y E tienen existencias (iniciales) de 5, 10, 100 y 100, respectivamente; las demás tienen existencias iniciales de cero. Se programa la entrada de 10 unidades de A en la semana 3, 20 unidades de B en la semana 7, 40 unidades de F en la semana 5 y 60 unidades de E en la semana 2; no hay más entradas programadas. Si en la semana 10 se necesitan 20 unidades de A, use la lista de materiales (árbol estructural del producto) con codificación de nivel inferior para encontrar las expediciones de pedidos planificados necesarias para todos los componentes. (Vea la nota del problema 5.)

9. Una unidad de A consta de dos unidades de B y tres unidades de C. Cada B consta de una unidad de F. C se obtiene de una unidad de D, una unidad de E y dos unidades de F. Las piezas A, B, C y D tienen 20, 50, 60 y 25 unidades de existencias. Se aplica la técnica lote por lote en los componentes A, B y C para determinar el tamaño de lote, mientras D, E y F necesitan comprar múltiplos de 50, 100 y 100, respectivamente. B tiene entregas programadas de 30 unidades en el periodo 1. No hay más entregas programadas. Los tiempos de entrega son de un periodo para las piezas A, B y D, y de dos periodos para C, E y F. Las necesidades brutas de A son 20 unidades en el periodo 1, 20 unidades en el periodo 2, 60 unidades en el periodo 6 y 50 unidades en el periodo 8. Encuentre las expediciones de pedidos planificados para todas las piezas.

10. Cada unidad de A consta de una unidad de B, dos unidades de C y una unidad de D. C consta de dos unidades de D y tres unidades de E. Las piezas A, C, D y E tienen existencias de 20, 10, 20 y 10 unidades, respectivamente. La pieza B tiene una entrega programada de 10 unidades en el periodo 1 y C tiene una entrega programada de 50 unidades en el periodo 1. Se aplica la técnica lote por lote (L4L) para las piezas A y B. La pieza C necesita un tamaño de lote mínimo de 50 unidades. Se necesitan comprar múltiplos de 100 y 50, respectivamente, para D y E. Los tiempos de entrega para las piezas A, B y C son de un periodo, y para las piezas D y E son de dos periodos. Las necesidades brutas de A son 30 en el periodo 2, 30 en el periodo 5 y 40 en el periodo 8. Encuentre las expediciones de pedidos planificados de todas las piezas.

11. A continuación se muestran las necesidades brutas de MRP de la pieza A durante las próximas 10 semanas. El tiempo de entrega de A es de tres semanas y el costo de preparación es de 10 dólares. Hay un costo de mantenimiento de inventario de 1 centavo de dólar por unidad por semana. El inventario inicial es de 90 unidades.

	Semana									
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Necesidades brutas	30	50	10	20	70	80	20	60	200	50

Con el método de costo total mínimo y el costo unitario mínimo de determinación de tamaño lote establezca el momento y la cantidad que se debe expedir del primer pedido.

12. El producto A es una pieza final y se obtiene de dos unidades de B y cuatro unidades de C. B se obtiene de tres unidades de D y dos unidades de E. C se obtiene de dos unidades de F y dos de E.

A tiene un tiempo de entrega de una semana. B, C y E tienen tiempos de entrega de dos semanas, y D y F tienen tiempos de entrega de tres semanas.

a) Presente la lista de materiales (árbol estructural del producto).

b) Si en la semana 10 se necesitan 100 unidades de A elabore el programa de planificación de MRP especificando cuándo se deben pedir y recibir las piezas. A la fecha no hay unidades de existencias.

13. El producto A consta de dos unidades del subensamble B, tres unidades de C y una unidad de D. B consta de cuatro unidades de E y tres unidades de F. C se obtiene de dos unidades de H y tres unidades de D. H se obtiene de cinco unidades de E y dos unidades de G.

a) Elabore una lista de materiales simple (árbol estructural del producto).

b) Trace el árbol estructural del producto con codificación de nivel inferior.

c) Prepare una lista escalonada de piezas.

d) Para producir 100 unidades de A determine el número de unidades de B, C, D, E, F, G y H que se necesitan.

14. Aquí se presentan las necesidades brutas de MRP de la pieza X para las 10 semanas siguientes. El tiempo de entrega de A es de dos semanas y el costo de preparación es de 9 dólares. El costo de mantenimiento de inventario es de 2 centavos de dólar por unidad por semana. Las existencias iniciales son de 70 unidades.

	Semana									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Necesidades brutas	20	10	15	45	10	30	100	20	40	150

Con el método de costo total mínimo y el costo unitario mínimo de determinación de tamaño lote establezca el momento y la cantidad que se debe expedir del primer pedido.

15. Audio Products, Inc., produce dos reproductores AM/FM/CD para coches. Las unidades de radio/CD son idénticas, lo que difiere son el hardware de montaje y el contramarco del acabado. El modelo estándar cabe en los coches medianos y grandes, y el modelo deportivo cabe en los autos deportivos pequeños.

Audio Products maneja la producción de la siguiente manera. El chasis (unidad radio/CD) se ensambla en México y tiene un tiempo de entrega de manufactura de dos semanas. Los materiales de montaje se adquieren en una compañía laminadora con un tiempo de entrega de tres semanas. El contramarco del acabado se compra en una compañía electrónica taiwanesa con oficinas en Los Ángeles como unidades previamente empacadas que constan de perillas y varias piezas del contramarco. Los paquetes de contramarco tienen un tiempo de entrega de dos semanas. El tiempo para el ensamble final no se toma en cuenta porque el cliente se encarga del paquete del contramarco y el montaje.

Los proveedores, mayoristas y minoristas de Audio Products colocan pedidos específicos de los dos modelos hasta con ocho semanas de antelación. La tabla de demanda que se presenta a continuación resume estos pedidos y también la cantidad de visitas adicionales para satisfacer el escaso número de ventas individuales:

	Semana							
Semana	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Modelo estándar				300				400
Modelo deportivo					200			100

A la fecha hay 50 unidades de radio/CD, pero no hay paquetes de contramarco ni hardware de montaje.

Prepare un plan de requerimientos de material para cumplir exactamente con el programa de demanda. Especifique las necesidades brutas y netas, las existencias y los periodos de entrada y expedición de pedidos planificados para el chasis de radio/CD, el contramarco para los modelos estándar y deportivo, y el hardware de montaje estándar y deportivo.

CASO: BRUNSWICK MOTORS, INC. CASO DE INTRODUCCIÓN A LA MRP

En fechas recientes, Phil Harris, gerente de control de producción de Brunswick, leyó un artículo sobre el programa calendarizado de necesidades. Tenía curiosidad de cómo podría funcionar la técnica para programar las operaciones de ensamble de motores de Brunswick y decidió preparar un ejemplo para ilustrar el uso del programa calendarizado de necesidades.

La primera medida de Phil fue preparar un programa maestro para un tipo de motor que se produce en Brunswick: el Modelo 1 000. Este programa indica el número de unidades del motor Modelo 1 000 que se ensamblará cada semana durante las siguientes 12 semanas, presentado más adelante. En seguida, Phil decidió simplificar su ejemplo de programa de necesidades tomando en cuenta solo dos de las muchas piezas que se necesitan para completar el ensamble del motor Modelo 1 000. Estas dos piezas, la caja de engranes y el eje de entrada, se presentan a continuación, en el diagrama de estructura del producto. Phil se dio cuenta de que la caja de engranes se ensamblaba en el departamento de subensamble y se enviaba a la línea de ensamble principal del motor. El eje de entrada es una de las piezas que fabrica Brunswick y que se necesitan para producir el subensamble de una caja de engranes. Por tanto, en el diagrama de estructura del producto se indican, con los niveles 0, 1 y 2, las tres etapas de manufactura en la producción de un motor: el departamento de ensamble de motores, el departamento de subensamble y el taller de máquinas.

Los tiempos de entrega de manufactura necesarios para producir la caja de engranes y las piezas del eje de entrada también aparecen en el diagrama de la estructura del producto. Se observa que se requieren dos semanas para producir un lote de cajas de engranes y que se deben enviar todas las cajas de engranes al almacén de piezas de la línea de ensamble antes de la mañana del lunes de la semana que se van a usar. Asimismo, se necesitan tres semanas para producir un lote de ejes de entrada, y los ejes requeridos para la producción de las cajas de engranes de una semana determinadas se deben entregar al almacén del departamento de subensamble antes de la mañana del lunes de esa semana.

Durante la preparación del ejemplo de MRP, Phil planeó el uso de las hojas de cálculo que se presentan adelante e hizo las siguientes suposiciones:

1. A principios de la semana 1 hay 17 cajas de engranes en existencia y están por entregarse por pedido cinco cajas de engranes a principios de la semana 2.

2. A principios de la semana 1 hay 40 ejes de entrada en existencias y se tiene programada la entrega de 22 a principios de la semana 2.

Tarea

1. Suponga primero que Phil quiere reducir sus necesidades de inventario. Suponga que cada pedido será solo por lo que se necesita en un solo periodo. Con las formas que aparecen a continuación, calcule las necesidades netas y las expediciones de pedidos planificados para las cajas de engranes y ejes de entrada. Suponga que la determinación del tamaño de lotes se realiza por lote.
2. A Phil le gustaría considerar los costos que utilizan actualmente sus contadores con la transferencia de inventario y preparación para las cajas de engranes y ejes de entrada. Los costos son:

Pieza	Costo
Caja de engranes	Preparación = $90/pedido Costo de mantenimiento de inventario = $2/unidad/semana
Eje de entrada	Preparación = $45/pedido Costo de mantenimiento de inventario = $1/unidad/semana

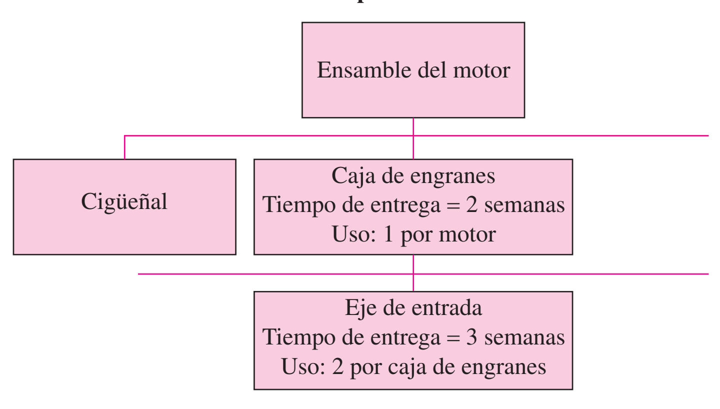
Con la estructura de costos, evalúe el costo del programa de (1). Suponga que el inventario se valúa al final de cada semana.

3. Calcule un programa con la determinación de tamaño de lotes mediante el costo total mínimo. ¿Cuál es el ahorro con este programa nuevo?

Programa maestro del modelo 1 000

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Demanda	15	5	7	10		15	20	10		8	2	16

Estructura del producto del modelo 1 000



Programa maestro de ensamble de motores

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cantidad												

Necesidades para la caja de engranes

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Necesidades brutas												
Entradas programadas												
Saldo proyectado disponible												
Necesidades netas												
Expedición de pedidos planificados												

Necesidades para el eje de entrada

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Necesidades brutas												
Entradas programadas												
Saldo proyectado disponible												
Necesidades netas												
Expedición de pedidos planificados												

Cuestionario

1. Lógica para calcular las piezas, componentes y otros materiales necesarios para producir un artículo final.
2. Esto promueve los cálculos de la MRP y es un plan detallado de cómo se espera satisfacer la demanda.
3. Periodo durante el cual un cliente tiene un nivel especificado de oportunidad para hacer cambios.
4. Esto identifica los materiales específicos para fabricar cada artículo y las cantidades correctas de cada uno.
5. Si se usa un artículo en dos lugares en una lista de material, por ejemplo, en el nivel 3 y en el nivel 4, ¿qué clave de nivel inferior se le asignaría al artículo?
6. Una unidad de la parte C se usa en el artículo A y en el artículo B. Actualmente se tienen 10 A, 20 B y 100 C en inventario. Deseamos enviar 60 A y 70 B. ¿Cuántas C adicionales es necesario comprar?
7. Pedidos ya expedidos y están por llegar en el futuro.
8. Cantidad total requerida para un artículo particular.
9. Cantidad necesaria después de considerar lo que se tiene actualmente y lo que se espera que llegue en el futuro.
10. Las entradas de los pedidos planificados y las expediciones de pedidos planificados se compensan por esta cantidad de tiempo.
11. Cantidades de piezas entregadas en la sección de expedición de pedidos planificados de un reporte de MRP.
12. Ordenar exactamente lo necesario en cada periodo sin detenerse en consideraciones económicas.
13. Ninguna de las técnicas para determinar la cantidad de pedido considera este importante factor no económico que podría hacer imposible la cantidad de pedido.

1. Planificación de requerimientos de material (MRP) 2. Programa maestro 3. Limitación de tiempo 4. Lista de materiales 5. Nivel 4 6. Cero 7. Entradas programadas 8. Necesidades brutas 9. Necesidades netas 10. Tiempo de entrega 11. Tamaños de lote 12. Pedido de lote por lote 13. Capacidad

Bibliografía seleccionada

Orlicky, J., *Materials Requirements Planning*, 2a. ed., Nueva York, Mc-Graw-Hill, 1994. (Obra clásica sobre MRP.)

Sheikh, K., *Manufacturing Resource Planning (MRP II) with Introduction to ERP, SCM and CRM*, Nueva York, McGraw-Hill, 2002.

Vollmann, T. E., W. L. Berry, D. C. Whybark y F. R. Jacobs, *Manufacturing Planning and Control Systems for Supply Chain Management*, 5a. ed., Nueva York, McGraw-Hill, 2004.

sección 5

PROGRAMACIÓN

LA IMPORTANCIA DE LA PROGRAMACIÓN

Se ha dicho que la persona a cargo de la programación es quien de verdad dirige la empresa. Si está de acuerdo, una conclusión lógica es que si nadie está a cargo de la programación, nadie dirige la empresa. La programación es el plan detallado de lo que va a hacerse en el corto plazo. Por "corto plazo" se entienden las siguientes dos a tres semanas.

Un programa adopta la forma de algo tan simple como una lista de pendientes o también puede ser mucho más complejo, como la crónica segundo por segundo de lo que va a pasar en las próximas dos horas. Los empleados ven con expectación la programación para saber adónde van a trabajar en el futuro. Por ejemplo, en las aerolíneas se programan cada mes los vuelos de los pilotos según un complejo procedimiento de órdenes en el que se considera su antigüedad en la empresa. En algunas profesiones, como enfermería, se elaboran calendarios equitativos en cuanto al trabajo en días hábiles y de fines de semana.

Otra forma de programación, a la que consideramos se dedica la mayor extensión en el capítulo, es la programación del trabajo. En este caso, una empresa tiene varios pedidos de trabajo que debe terminar pronto. Muchas veces, la programación es una lista de prioridades de pedidos en la que se indica qué debe hacerse primero, en segundo lugar, y así sucesivamente. En la lista se debe calcular cuándo se espera terminar un trabajo. Cuando es necesario realizar muchos pedidos con trabajadores de habilidades variables, diferentes máquinas y que quizás hasta se encuentran en lugares distintos, la programación se complica en extremo.

Capítulo 19

PROGRAMACIÓN

Hospitales reducen espera en urgencias. Nuevas unidades "rápidas", ID de alta tecnología acelera las visitas; vea al doctor en 17 minutos

Hace unos años, el Hospital Oakwood y el Centro Médico de Dearborn, Michigan, prometieron que a quienquiera que llegara a la sala de urgencias le atendería un médico antes de 30 minutos o recibiría una disculpa por escrito y dos boletos gratis para el cine. Parecía un truco barato de mercadotecnia. Algunos empleados se sintieron avergonzados.

La garantía de los 30 minutos es un enorme éxito. Los cuatro hospitales del sistema de salud de Oakwood la pusieron en práctica y la medida de satisfacción de los pacientes se fue a las nubes. Menos de 1% de los pacientes pidió boletos gratuitos.

Después de leer este capítulo, usted:

1. Sabrá qué es un control de actividad de producción del sistema de ejecución de manufactura.
2. Entenderá las reglas comunes de programación de prioridad y su impacto en la programación de mediciones de desempeño.
3. Reconocerá un procedimiento sencillo de asignación de trabajo.
4. Explicará los problemas considerados en la programación de empleados.

Hace poco el centro anunció un programa de espera cero en sus cuatro salas de urgencias y en el centro de atención médica. Todavía no se sabe si tendrá éxito este servicio que marcará un precedente, pero se rediseñaron los procesos y se recurrió a arreglos ingeniosos de los horarios del personal.

No es más que la respuesta de un sistema hospitalario al problema ingente y prolongado de las salas de urgencia atestadas. Un estudio reveló que pasan 47 minutos para que un doctor vea a un paciente en una sala de urgencias de Estados Unidos, pero eso no es nada comparado con las horas y horas que terminan esperando algunos pacientes.

Ahora bien, los problemas, que parecían inabordables, de los amontonamientos en las salas de urgencias comienzan a estimular numerosas iniciativas de solución. Cada vez más hospitales canalizan a los pacientes con dolencias menores (los que antes languidecían abandonados en la sala de espera) a unidades "rápidas" para que entren y salgan pronto de las camas de urgencias. Otros hospitales aplican complejos sistemas de cómputo para que los directores tengan informes completos y

al minuto del estado de cada paciente en cada cama. En ciertas zonas se usan tarjetas de identificación médica que se deslizan en una computadora para agilizar el registro de los pacientes y generar información vital para los médicos y enfermeras de urgencias. Otros cambios que se precisan para reducir los tiempos de espera consisten en aplicar sistemas de reingeniería a las operaciones de facturación, registro y laboratorio, actualizar al personal técnico y reemplazar al grupo de médicos de urgencias por un nuevo equipo que trabaje más horas.

Tenga presente que los flujos de trabajo son como los flujos de efectivo y que la programación está en el centro del proceso. Una programación es un calendario para realizar actividades, aprovechar recursos o asignar servicios. En este capítulo se expone la programación de corto plazo y el control de pedidos, con énfasis en los centros de trabajo. También se introducen métodos básicos de programación de corto plazo para los trabajadores de servicios.

Sistemas de ejecución de manufactura

Programar las operaciones está en el centro mismo de lo que en nuestros días se conoce como sistemas de ejecución de manufactura (SEM). Un SEM es un sistema de información que programa, despacha, sigue, vigila y controla la producción de la planta fabril. Estos sistemas también proporcionan enlaces en tiempo real a los sistemas de MRP, planificación de productos y procesos, así como sistemas que rebasan los límites de la fábrica, como administración de la cadena de suministro, ERP, ventas y administración de servicios. Hay empresas de escritura de programas de cómputo que desarrollan e implantan SEM como parte de una *suite* de herramientas de software.

Servicio

A semejanza del SEM, un sistema de ejecución de servicios (SES) es un sistema de información que enlaza, programa, despacha, sigue, vigila y controla los contactos de los clientes con las organizaciones de servicio y sus empleados. Como es patente, la medida en que se pongan en marcha estos elementos está determinada por el grado de participación concreta del cliente con la organización de servicio, el número de etapas del servicio y si dicho servicio es estandarizado (como las reservaciones de un vuelo comercial) o personalizado (como una visita al hospital). Las características comunes de todo sistema grande son una base de datos central con toda la información pertinente sobre disponibilidad de recursos y clientes, y una función de control gerencial que integra y supervisa el proceso.

Naturaleza e importancia de los centros de trabajo

Centro de trabajo

Un **centro de trabajo** es un espacio de la empresa en donde se organizan los recursos productivos y se cumplen las labores. El centro de trabajo puede ser una máquina sola, un grupo de máquinas o una zona en la que se ejecuta cierta clase de trabajo. Estos centros se organizan de acuerdo con su función en una configuración laboral centralizada, por producto en una línea continua de montaje o por celda de tecnología de grupo (TG). Recordará, del capítulo 6A, que muchas empresas pasaron de una configuración de centro de trabajo a las celdas TG.

En el caso del centro de trabajo, las labores tienen que moverse entre centros organizados por funciones para que se terminen. Cuando llega un trabajo al centro, por ejemplo, el departamento de perforación de una fábrica que imprime tableros de circuitos sobre pedido, se pone en fila para esperar que la perforadora pueda realizar las perforaciones requeridas. En este caso, la programación consiste en determinar el orden de las corridas de trabajo y asignar una máquina que haga las perforaciones.

Una característica que distingue un sistema de programación de otro es cuánta capacidad se considera para determinar el programa. Los sistemas de programación son de carga infinita o finita. La **carga infinita** ocurre cuando el trabajo se asigna a un centro de trabajo según se necesite al paso del tiempo. No se considera en absoluto si hay suficiente capacidad en cuanto a los recursos que se consumen para terminar el trabajo ni se estudia la sucesión real del trabajo como se hace con cada recurso del centro de trabajo. Muchas veces se realiza una inspección somera de los principales recursos para ver si presentan una sobrecarga por acumulación. Para este efecto

Carga infinita

se calcula el volumen de trabajo requerido durante un periodo (lo normal es una semana) con estándares de tiempos de preparación y de corrida para cada pedido. Cuando se usa un sistema de carga infinita, el tiempo de entrega se calcula al tomar un múltiplo del tiempo que se espera que dure la operación (preparación y corrida) más la demora esperada en la fila causada por el movimiento del material y la espera a que se trabaje el pedido.

Carga finita

En un enfoque de **carga finita** se programa al detalle todo recurso en los tiempos de preparación y corrida por cada pedido. En esencia, el sistema determina con exactitud qué se hará con cada recurso en todo momento de la jornada de trabajo. Si una operación se demora por falta de componentes, el pedido permanece en la fila hasta que una operación previa permite disponer del componente. En teoría, todos los programas son viables cuando se trabaja con cargas finitas.

Programación progresiva

Programación en retroceso

Otra característica que distingue los sistemas de programación es si procede hacia atrás o adelante en el tiempo. Para esta dimensión temporal, lo más común es la **programación progresiva**, que se refiere a la situación en la que el sistema toma un pedido y programa todas las operaciones que hay que completar de manera oportuna. Un sistema que proyecta la programación indica la fecha más próxima de terminar el pedido. Por el contrario, la **programación en retroceso** comienza en una fecha futura (quizás en un plazo previsto) y se programan las operaciones requeridas en sentido inverso. La programación en retroceso indica cuándo empezar un pedido para terminarlo en una fecha específica.

Un sistema de planificación de requerimientos de material (MRP, por sus siglas en inglés) es un ejemplo de sistema de programación en retroceso de carga infinita. Con una MRP simple, cada pedido tiene una fecha de entrega. En este caso, el sistema calcula las necesidades de componentes mediante la programación en retroceso respecto del momento en que se ejecutarán las operaciones para completar los pedidos. El tiempo necesario para hacer cada pieza (o lote de piezas) se calcula con la base de datos históricos. Los sistemas de programación que se abordan en este capítulo se dirigen a los procesos necesarios para fabricar esas piezas y subensambles.

Proceso limitado por las máquinas

Proceso limitado por la mano de obra

Despachar

Hasta aquí, el término *recursos* se ha usado en sentido general. En la práctica debe decidirse qué se va a programar en concreto. Lo común es que los procesos se consideren limitados por las máquinas o por la mano de obra. En un **proceso limitado por las máquinas**, el equipo es el recurso crucial que se programa. Del mismo modo, en un **proceso limitado por la mano de obra** la gente es el recurso clave que se programa. Casi todos los programas tienen alguna de estas limitaciones, pero no las dos, afortunadamente.

En la ilustración 19.1 se describen los métodos de programación comunes en diferentes procesos de manufactura. Los procesos reales determinan si se considera la capacidad. La tecnología de cómputo disponible permite generar programas muy detallados para programar cada trabajo de cada máquina y asignar un trabajador específico a una máquina en un momento determinado. También hay sistemas que detectan el estado exacto de cada trabajo y recurso. Mediante RFID o tecnología de codificación de barras, estos sistemas capturan con eficiencia toda la información detallada.

Intelligent Instrumentation, empresa de Texas Instruments, produce terminales de acopio de datos en vehículos CE.NET para puntos LAN. Compañías como Yardman usan esta herramienta para sus procesos de surtido y embarque. Así, en el control de inventarios los primeros elementos en entrar son los primeros en salir, y las operaciones son más rápidas.

PROGRAMACIÓN Y FUNCIONES DE CONTROL CARACTERÍSTICAS

Para programar y controlar una operación deben ejecutarse las funciones siguientes:

1. Asignar pedidos, equipo y personal a centros de trabajo y otras ubicaciones especificadas. En esencia, se trata de la planificación de capacidad de corto plazo.
2. Determinar la secuencia de realización de los pedidos (es decir, establecer prioridades laborales).
3. Iniciar el desempeño del trabajo programado. Es lo que por lo general se llama **despachar** pedidos.

ILUSTRACIÓN 19.1 Tipos de procesos de manufactura y métodos de programación.

Tipo	Producto	Características	Método de programación habitual
Proceso continuo	Compuestos químicos, acero, alambre y cables, líquidos (cerveza, refrescos), alimentos enlatados	Automatización completa, poco contenido de mano de obra en costos de producción, instalaciones dedicadas a un producto	Programación progresiva finita del proceso; limitado por las máquinas
Manufactura de gran volumen	Automóviles, teléfonos, cierres, textiles, motores, electrodomésticos	Equipo automatizado, manejo automatizado parcial, movimiento por líneas de montaje, casi todo el equipo alineado	Programación progresiva finita de la línea (un ritmo de producción característico); limitado por las máquinas; las piezas se suministran conforme a la demanda de la línea según el sistema justo a tiempo (kanban)
Manufactura de volumen medio	Piezas industriales, productos de consumo	Células TG, minifábricas dedicadas	Programación progresiva infinita característica: control de prioridades; por lo común limitada por la mano de obra, pero a veces responde a pedidos justo a tiempo de clientes o plazos de MRP
Centros de trabajo de volumen bajo	Equipo a la medida o prototipos, instrumentos especializados, productos industriales de bajo volumen	Centros de maquinado organizados por función de manufactura (no en línea), mucho contenido de mano de obra en el costo del producto, maquinaria de propósito general con significativo tiempo de cambio, poca automatización del manejo de material, gran variedad de productos	Programación progresiva infinita de trabajos: por lo común limitada por la mano de obra, pero ciertas funciones pueden estar limitadas por las máquinas (por ejemplo, un proceso que calienta una máquina de precisión); prioridades determinadas por plazos de MRP

4. Control del taller (o control de actividades de producción) que implica
   a) Revisión del estatus y control del progreso de los pedidos conforme se trabajan.
   b) Expedición de pedidos retrasados y muy importantes.[1]

En la ilustración 19.2 se muestra un proceso simple de programación de centro de trabajo. Al comienzo del día, el programador (en este caso, una persona de control de producción encargada del departamento) escoge y secuencia los trabajos por efectuar en las estaciones de trabajo individuales. Las decisiones del programador deben basarse en las operaciones y requisitos de tránsito de cada trabajo, estado de los trabajos en los centros, fila de trabajos de los centros, prioridades laborales, disponibilidad de materiales, pedidos anticipados que quedarán listos en el día y capacidades de recursos de los centros de trabajo (mano de obra o maquinaria).

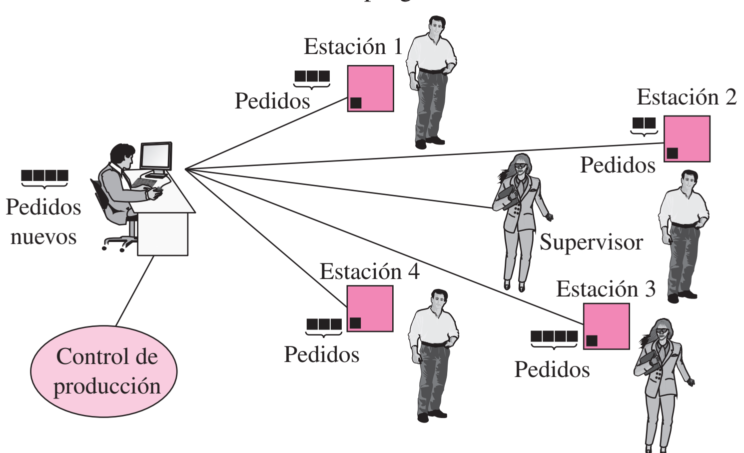
Para organizar la programación, el programador recurre a la información sobre el estado de los trabajos del día anterior, información externa proporcionada por el control central de producción, ingeniería de procesos, etc. El programador también se reúne con el supervisor del departamento para hablar de la viabilidad del programa, en particular sobre consideraciones acerca de la mano de obra y posibles cuellos de botella. Los detalles del programa se comunican a los trabajadores mediante listas de despacho mostradas en las terminales de cómputo, impresiones en papel o con una lista pegada en espacios centrales acerca de lo que hay que trabajar. Los tableros de programación visibles son muy buen método para comunicar la prioridad y el estado actual del trabajo.

Objetivos de la programación del centro de trabajo

Los objetivos de la programación del centro de trabajo son 1) cumplir los plazos, 2) reducir el tiempo de entrega, 3) reducir tiempos o costos de preparación, 4) disminuir el inventario de los

[1] A pesar de que los especialistas del control de producción no estén de acuerdo con acelerar el trabajo, de todos modos es una realidad de la vida. En efecto, un trabajo común inicial de control de producción es el de coordinador o "acelerador de existencias". En algunas empresas, un buen coordinador, uno que sepa negociar un trabajo crítico para que avance por el sistema o que saque materiales que todos pensaban que no había, es una posesión invaluable.

ILUSTRACIÓN 19.2 Proceso de programación característico.



trabajos sin terminar y 5) maximizar el aprovechamiento de máquinas y trabajadores. No es probable, y muchas veces es indeseable, acometer al mismo tiempo todos estos objetivos. Por ejemplo, tener ocupados a todos los trabajadores o la maquinaria puede dar por resultado que tenga que mantenerse mucho inventario. Veamos otro ejemplo: es posible cumplir 99 de 100 plazos y de todos modos estar en un grave problema de programación si el plazo que falta fuera un trabajo crucial o un cliente fundamental. El punto importante, como en el caso de otras actividades de producción, es mantener una perspectiva de sistemas para garantizar que los objetivos del centro de trabajo estén sincronizados con la estrategia de operaciones de la organización.

Secuencia de los trabajos

El proceso de determinar el pedido en una máquina o en un centro de trabajo se llama **secuencia** o también secuencia por prioridades. Con las **reglas de prioridad** se obtiene una secuencia de los trabajos. Las reglas pueden ser muy simples y pedir únicamente que los trabajos se ordenen de acuerdo con un dato, como tiempo de procesamiento, plazo u orden de llegada. Otras reglas, aunque también simples, requieren más datos, casi siempre para obtener un número indicador, como la regla del menor margen de tiempo y la regla de la proporción crítica (que se definen más adelante). Otras más, como la regla de Johnson (que también se estudia después), se aplican a la programación de trabajos en una secuencia de máquinas y requieren un procedimiento de cómputo para especificar el orden de desempeño. En la ilustración 19.3 se anotan ocho reglas comunes de prioridad.

Secuencia
Reglas de prioridad

ILUSTRACIÓN 19.3 Reglas de prioridad para jerarquizar trabajos.

1. PEPT (primero en entrar, primero en trabajarse). Los pedidos se ejecutan en el orden en que llegan al departamento.
2. TOB (tiempo de operación más breve). Ejecutar primero el trabajo con el tiempo de terminación más breve, luego el siguiente más breve, etc. Se llama también TPB (tiempo de procesamiento más breve). A veces la regla se combina con una regla de retardo para evitar que los trabajos con tiempos más extensos se atrasen demasiado.
3. PPP (primero el plazo más próximo). Se ejecuta primero el trabajo que antes se venza.
4. TOR (tiempo ocioso restante). Se calcula como el tiempo que queda antes de que se venza el plazo menos el tiempo restante de procesamiento. Los pedidos con menor tiempo ocioso restante (TOR) se ejecutan primero.
   TOR = Tiempo restante antes de la fecha de vencimiento – tiempo de procesamiento restante
5. TOR/PO (tiempo ocioso restante por operación). Se ejecutan primero los pedidos con el menor tiempo ocioso por número de operaciones.
   TOR/PO = TOR/Número de operaciones restantes
6. PC (proporción crítica). Se calcula como la diferencia entre la fecha de vencimiento y la fecha actual, dividida entre el número de días hábiles que quedan. Se ejecutan primero los pedidos con la menor PC.
7. ULPT (último en llegar, primero en trabajarse). Esta regla se aplica a menudo automáticamente. Cuando llegan los pedidos, por rutina se colocan arriba de la pila; el operador toma primero el que esté más alto.
8. Orden aleatorio o por capricho. Los supervisores u operadores escogen el trabajo que quieran ejecutar.

Con las siguientes mediciones de desempeño de los programas se evalúan las reglas de prioridad.

1. Cumplir las fechas de los clientes o de las operaciones posteriores.
2. Reducir el tiempo de tránsito (el tiempo que pasa un trabajo en proceso).
3. Disminuir el inventario de trabajos sin terminar.
4. Reducir el tiempo ocioso de máquinas y trabajadores.

Reglas y técnicas de prioridad

PROGRAMACIÓN DE *n* TRABAJOS EN UNA MÁQUINA

A continuación se comparan algunas de las ocho reglas de prioridad en una situación estática de programación que abarca cuatro trabajos en una máquina (en terminología de programación, estos problemas se llaman *n* trabajos por máquina, o *n*/1). La dificultad teórica de los problemas de programación aumenta conforme se consideran más máquinas, más que cuando se procesan más trabajos; por tanto, la única restricción sobre *n* es que sea un número finito específico. Vea el ejemplo siguiente.

Paso por paso

EJEMPLO 19.1: *n* trabajos en una máquina

Mike Morales es supervisor de Legal Copy-Express, que proporciona servicios de fotocopiado a despachos de abogados del centro de Los Ángeles. Cinco clientes entregaron sus pedidos al comienzo de la semana. Los datos concretos de programación son los siguientes:

Trabajo (en orden de llegada)	Tiempo de procesamiento (días)	Plazo (días faltantes)
A	3	5
B	4	6
C	2	7
D	6	9
E	1	2

Todos los pedidos tienen que hacerse en la única fotocopiadora de color disponible. Morales tiene que decidir la secuencia de procesamiento de los cinco pedidos. El criterio de evaluación es el tránsito mínimo. Suponga que Morales decide aplicar la regla PEPT para que se considere que Legal Copy-Express es equitativa con sus clientes.

Solución

Regla PEPT: La regla PEPT da por resultado los siguientes tiempos de tránsito:

Programa PEPT

Secuencia de trabajos	Tiempo de procesamiento (días)	Plazo (días faltante)	Tiempo de tránsito (días)
A	3	5	0 + 3 = 3
B	4	6	3 + 4 = 7
C	2	7	7 + 2 = 9
D	6	9	9 + 6 = 15
E	1	2	15 + 1 = 16

Tiempo total de tránsito = 3 + 7 + 9 + 15 + 16 = 50 días

Tiempo de tránsito promedio $= \frac{50}{5} = 10$ días

Si se compara el plazo de cada trabajo con su tránsito se observa que solo el trabajo A estará a tiempo. Los trabajos B, C, D y E se demorarán 1, 2, 6 y 14 días. En promedio, un trabajo se demorará (0 + 1 + 2 + 6 + 14)/5 = 4.6 días. ●

Solución

Regla TOB: Considere ahora la regla TOB. Aquí, Morales da la mayor prioridad al trabajo con el menor tiempo de procesamiento. Los tiempos de tránsito que resultan son:

Programa TOB

Secuencia de trabajos	Tiempo de procesamiento (días)	Plazo (días faltantes)	Tiempo de tránsito (días)
E	1	2	0 + 1 = 1
C	2	7	1 + 2 = 3
A	3	5	3 + 3 = 6
B	4	6	6 + 4 = 10
D	6	9	10 + 6 = 16

Tiempo total de tránsito = 1 + 3 + 6 + 10 + 16 = 36 días

Tiempo de tránsito promedio = $\frac{36}{5}$ = 7.2 días

La regla TOB da un promedio menor de tránsito que PEPT. Además, los trabajos E y C estarían listos antes del plazo y el trabajo A estaría tarde solo un día. En promedio, un trabajo se atrasará (0 + 0 + 1 + 4 + 7)/5 = 2.4 días. ●

Solución

Regla PPP: Si Morales decide aplicar la regla PPP, el programa resultante es:

Programa PPP

Secuencia de trabajos	Tiempo de procesamiento (días)	Plazo (días faltantes)	Tiempo de tránsito (días)
E	1	2	0 + 1 = 1
A	3	5	1 + 3 = 4
B	4	6	4 + 4 = 8
C	2	7	8 + 2 = 10
D	6	9	10 + 6 = 16

Tiempo total de tránsito = 1 + 4 + 8 + 10 + 16 = 39 días

Tiempo de tránsito promedio = 7.8 días

En este caso, los trabajos B, C y D se atrasan. En promedio, un trabajo se atrasará (0 + 0 + 2 + 3 + 7)/5 = 2.4 días. ●

Solución

Reglas ULPT, aleatoria y TOR: A continuación se dan los tiempos de tránsito correspondientes a las reglas ULPT, aleatoria y TOR:

Secuencia de trabajos	Tiempo de procesamiento (días)	Plazo (días faltantes)	Tiempo de tránsito (días)
Programa ULPT			
E	1	2	0 + 1 = 1
D	6	9	1 + 6 = 7
C	2	7	7 + 2 = 9
B	4	6	9 + 4 = 13
A	6	5	13 + 3 = 16

Tiempo total de tránsito = 46 días

Tiempo de tránsito promedio = 9.2 días

Retardo promedio = 4.0 días

(*continúa*)

(*continuación*)

Secuencia de trabajos	Tiempo de procesamiento (días)	Plazo (días faltantes)	Tiempo de tránsito (días)	
Programa aleatorio				
D	6	9	0 + 6 = 6	
C	2	7	6 + 2 = 8	
A	3	5	8 + 3 = 11	
E	1	2	11 + 1 = 12	
B	4	6	12 + 4 = 16	
Tiempo total de tránsito = 53 días				
Tiempo de tránsito promedio = 10.6 días				
Retardo promedio = 5.4 días				
Programa TOR				*Margen de tiempo*
E	1	2	0 + 1 = 1	2 − 1 = 1
A	3	5	1 + 3 = 4	5 − 3 = 2
B	4	6	4 + 4 = 8	6 − 4 = 2
D	6	9	8 + 6 = 14	9 − 6 = 3
C	2	7	14 + 2 = 16	7 − 2 = 5
Tiempo total de tránsito = 43 días				
Tiempo de tránsito promedio = 8.6 días				
Retardo promedio = 3.2 días				

Comparación de reglas de prioridad A continuación se resumen los resultados de las reglas que estudió Morales:

Regla	Tiempo de tránsito total (días)	Tiempo promedio de tránsito (días)	Retardo promedio (días)
PEPT	50	10	4.6
TOB	36	7.2	2.4
PPP	39	7.8	2.4
ULPT	46	9.2	4.0
Aleatoria	53	10.6	5.4
TOR	43	8.6	3.2

Aquí, TOB es mejor que otras reglas en cuanto al tiempo promedio de tránsito. Además, es comprobable matemáticamente que la regla TOB rinde una solución óptima en el caso $n/1$ para el tiempo promedio de espera y también para el retraso promedio. De hecho, esta regla simple es tan potente que se definió como "el concepto más importante de todo el ámbito de secuencia".[2] Pero no le faltan sus inconvenientes. El principal es que quizá nunca se empiecen trabajos grandes si siguen llegando los pequeños a la mesa del programador. Para evitarlo, las compañías recurren a lo que llaman regla TOB *truncada*, en la que los trabajos que esperan cierto tiempo especificado pasan automáticamente al primer lugar de la fila.

PROGRAMACIÓN DE *n* TRABAJOS EN DOS MÁQUINAS

Regla de Johnson

El siguiente esquema, por complejidad, es el caso del tránsito $n/2$, en el que dos o más trabajos deben procesarse en dos máquinas según un orden común. Como en el caso $n/1$, hay un método que lleva a una solución óptima conforme a determinados criterios. El objetivo de este método, llamado **regla de Johnson** o *método de Johnson* (por el apellido de quien lo concibió) es reducir el tiempo de tránsito desde el comienzo del primer trabajo hasta el final del último. La regla de Johnson consta de los pasos siguientes:

[2] R. W. Conway, W. L. Maxwell y L. W. Miller, *Theory of Scheduling*, Reading, Massachusetts, Addison-Wesley, 1967, p. 26. Es un libro clásico sobre el tema.

1. Se anota el tiempo de operación de cada trabajo en ambas máquinas.
2. Se elige el tiempo de operación más breve.
3. Si el tiempo breve es para la primera máquina, se hace el primer trabajo; si es para la segunda, se hace el trabajo al último. En caso de empate, se hace el trabajo en la primera máquina.
4. Se repiten los pasos 2 y 3 con los restantes trabajos hasta completar la programación.

Paso por paso

EJEMPLO 19.2: *n* trabajos en dos máquinas

Se ilustra este procedimiento con la programación de cuatro trabajos en dos máquinas.

Solución

Paso 1: Se anotan los tiempos de operación.

Trabajo	Tiempo de operación en máquina 1	Tiempo de operación en máquina 2
A	3	2
B	6	8
C	5	6
D	7	4

Pasos 2 y 3: Se selecciona el tiempo de operación más breve y se asigna. El trabajo A es más breve en la máquina 2, y se asigna primero y se ejecuta al último. (Una vez asignado el trabajo A, ya no está disponible para programarse.)

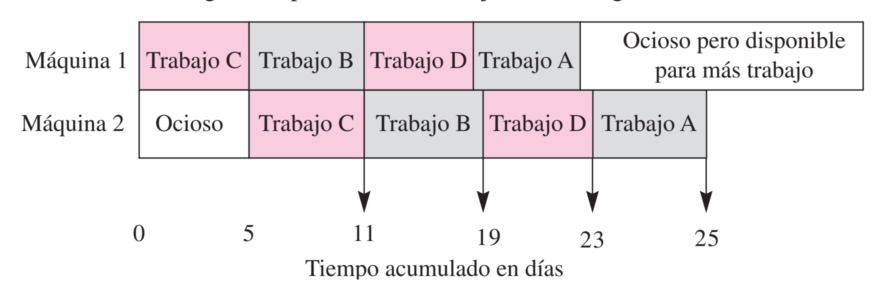
Paso 4: Se repiten los pasos 2 y 3 hasta terminar la programación. Se selecciona el tiempo de operación más breve de los trabajos restantes. El trabajo D es el segundo más breve en la máquina 2, así que se ejecuta en penúltimo lugar (recuerde que el **trabajo A** es el último). Ahora los trabajos A y D ya no se programan. El trabajo C es el más breve en la máquina 1 entre los trabajos restantes, así que se ejecuta primero. Ahora solo queda el trabajo B con el tiempo más breve en la máquina 1. Entonces, de acuerdo con el paso 3, se realiza en primer lugar de los restantes, es decir, el segundo lugar general (el trabajo C ya se había programado como el primero).

En resumen, la secuencia de solución es C → B → D → A, y el tiempo de tránsito es de 25 días, que es el mínimo. También se reducen el tiempo ocioso total y el tiempo ocioso promedio. En la ilustración 19.4 aparece el programa final.

Estos pasos dan por resultado una programación de trabajos que tiene el tiempo más corto al comienzo y al final. Por consiguiente, se maximiza el tiempo de operación concurrente de las dos máquinas y se reduce al mínimo el tiempo operativo total requerido para completar los trabajos. ●

El método de Johnson se extendió de modo que diera una solución óptima para el caso *n*/3. Cuando surgen problemas de programación del tránsito en la planta mayores que *n*/3 (y casi siempre surgen), no se cuenta con procedimientos analíticos que lleven a la solución óptima. La explicación de lo anterior es que aunque los trabajos lleguen estáticamente a la primera máquina, el problema de programación se convierte en dinámico y comienzan a formarse filas en las siguientes máquinas. En este punto se transforma en un problema de formación de filas de varias

ILUSTRACIÓN 19.4 Programa óptimo de los trabajos con la regla de Johnson.



fases, que de ordinario se resuelve mediante técnicas de simulación, como las que se estudian en el capítulo 19A.

PROGRAMACIÓN DE UN CONJUNTO DE TRABAJOS EN EL MISMO NÚMERO DE MÁQUINAS

Algunos centros de trabajo tienen suficientes máquinas correctas para iniciar todos los trabajos al mismo tiempo. Aquí el problema no es qué trabajo hacer primero, sino qué asignación de trabajos para cuáles máquinas dará el mejor programa general. En estos casos se aplica el método de asignación.

Método de asignación

El **método de asignación** es un caso especial del método de transporte de programación lineal. Se aplica a situaciones en las que hay *n* fuentes de oferta y *n* usos de la demanda (como cinco trabajos en cinco máquinas), y el objetivo es reducir al mínimo o maximizar alguna medida de eficacia. La técnica es conveniente en aplicaciones que comprenden asignación de trabajos a los centros de trabajo, personas a los puestos, etc. El método de asignación es apropiado para resolver problemas con las características siguientes:

1. Hay *n* "cosas" que se distribuyen a *n* "destinos".
2. Cada cosa debe asignarse a un solo destino.
3. Solo se aplica un criterio (por ejemplo, costo mínimo, utilidad máxima o tiempo mínimo de terminación).

Paso por paso

EJEMPLO 19.3: Método de asignación

Suponga que un programador tiene cinco trabajos que pueden realizarse en cinco máquinas ($n = 5$). El costo de terminar cada combinación de trabajos y máquinas se muestra en la ilustración 19.5. El programador quisiera diseñar una asignación de costo mínimo (hay 5!, o 120, posibles asignaciones).

Solución

Este problema puede resolverse con el método de asignación, que consiste en cuatro pasos (observe que también se resuelve con el Solver de Excel):

1. Se resta el número menor de cada *fila* del mismo número y de todos los números de la fila (por tanto, habrá al menos un cero en cada fila).
2. Se resta el número menor de cada *columna* de todos los demás números de la columna (por tanto, habrá por lo menos un cero en cada columna).
3. Se determina si el número *mínimo* de rectas necesarias para cubrir todos los ceros es igual a *n*. En tal caso, se encontró una solución óptima, porque las asignaciones de trabajos a las máquinas deben hacerse en las entradas cero y esta prueba demuestra que es posible. Si el número mínimo de rectas necesario es menor que *n*, se va al paso 4.
4. Se traza el número mínimo de rectas por todos los ceros (pueden ser las mismas líneas del paso 3). Se resta el número mínimo descubierto por las rectas del mismo número y de todos los demás números descubiertos, y se suma al número de cada intersección de las rectas. Se repite el paso 3.

Para el problema del ejemplo se seguirían los pasos anotados en la ilustración 19.6.

ILUSTRACIÓN 19.5 Matriz de asignación con los costos de procesamiento de las máquinas para cada trabajo.

	Máquina				
Trabajo	A	B	C	D	E
I	$5	$6	$4	$8	$3
II	6	4	9	8	5
III	4	3	2	5	4
IV	7	2	4	5	3
V	3	6	4	5	5

ILUSTRACIÓN 19.6 Procedimiento para resolver una matriz de asignación.

Paso 1: Reducción de filas: se resta el número menor de cada fila.

	Máquina				
Trabajo	A	B	C	D	E
I	2	3	1	5	0
II	2	0	5	4	1
III	2	1	0	3	2
IV	5	0	2	3	1
V	0	3	1	2	2

Paso 2: Reducción de columnas: se resta el número menor de cada columna.

	Máquina				
Trabajo	A	B	C	D	E
I	2	3	1	3	0
II	2	0	5	2	1
III	2	1	0	1	2
IV	5	0	2	1	1
V	0	3	1	0	2

Paso 3: Se aplica la prueba de las rectas: el número de rectas que tachen todos los ceros es 4; como se requieren 5, se avanza al paso 4.

	Máquina				
Trabajo	A	B	C	D	E
I	2	3	1	3	0
II	2	0	5	2	1
III	2	1	0	1	2
IV	5	0	2	1	1
V	0	3	1	0	2

Paso 4: Se resta el menor número descubierto y se suma a la intersección de las rectas. Con las rectas trazadas en el paso 3, el menor número descubierto es 1.

	Máquina				
Trabajo	A	B	C	D	E
I	1	3	0	2	0
II	1	0	4	1	1
III	2	2	0	1	3
IV	4	0	1	0	1
V	0	4	1	0	3

Solución óptima, según la "prueba de las rectas".

	Máquina				
Trabajo	A	B	C	D	E
I	1	3	0	2	0
II	1	0	4	1	1
III	2	2	0	1	3
IV	4	0	1	0	1
V	0	4	1	0	3

Asignaciones óptimas y sus costos.

Trabajo I a la máquina E	$3
Trabajo II a la máquina B	4
Trabajo III a la máquina C	2
Trabajo IV a la máquina D	5
Trabajo V a la máquina A	3
Costo total	$17

Observe que aunque hay dos ceros en tres filas y tres columnas, la solución de la ilustración 19.6 es la única posible para el problema, porque el trabajo III debe asignarse a la máquina C para satisfacer el requisito de "asignar a cero". Otros problemas pueden tener más de una solución óptima, lo que depende, desde luego, de los costos involucrados. ●

La justificación no matemática del método de asignación estriba en la oportunidad de reducir los costos.[3] Por ejemplo, si se decide asignar el trabajo I a la máquina A en lugar de la máquina E, se sacrificaría la oportunidad de ahorrar $2 ($5 – $3). En efecto, este algoritmo de asignación realiza tales comparaciones para todo el conjunto de asignaciones alternativas mediante la reducción

[3] La justificación de este procedimiento de sumar o restar los menores valores de las celdas es la siguiente: se anotan más ceros en la matriz si se resta el mismo número de una celda a todas las demás. En la matriz se generan números negativos, que no se permiten. Para deshacerse de estos, debe sumarse un número igual al máximo número negativo en cada elemento de la fila o columna en que se encuentre. Esto da por resultado que se agregue esta cantidad dos veces a cualquier celda que esté en la intersección de una fila y una columna cambiadas. El resultado neto es que las filas o columnas alineadas regresan a sus cantidades originales, y las intersecciones aumentan en el monto restado de las celdas descubiertas. (Si desea, el lector puede comprobarlo al resolver el ejemplo sin usar rectas.)

de filas y columnas, como se describe en los pasos 1 y 2. En el paso 4 se hace una comparación semejante. Como es obvio, si las asignaciones se hacen a celdas en cero, no se presentan costos de oportunidad respecto de toda la matriz.

Programación de *n* trabajos en *m* máquinas

Los centros de trabajo complejos se caracterizan por numerosos centros de máquinas que procesan trabajos diferentes que llegan intermitentemente a lo largo del día. Si hay que procesar *n* trabajos en *m* máquinas y todos los trabajos se procesan en todas las máquinas, entonces hay $(n!)^m$ programas alternativos para este grupo de trabajos. En virtud del gran número de programas que hay incluso para centros de trabajo pequeños, la simulación por computadora (vea el capítulo 19A) es la única manera práctica de determinar las bondades relativas de las reglas de prioridad en esas situaciones.

¿Qué regla de prioridad debe usarse? En nuestra opinión, las necesidades de la mayor parte de los fabricantes quedan cubiertas razonablemente con un esquema simple de prioridades que incorpore los principios siguientes:

1. Debe ser dinámico, es decir, que se calcule a menudo durante un trabajo para que dé cuenta de los cambios de condiciones.
2. Debe basarse, en un sentido o en otro, en el margen de tiempo (la diferencia entre lo que falta por hacer de un trabajo y el tiempo que queda para hacerlo).

Los enfoques más novedosos combinan la simulación con programadores humanos para elaborar los programas.

Control del taller

Control del taller (actividades de producción)

Programar las prioridades de trabajo es apenas un aspecto del **control del taller** (que ahora también se llama **control de las actividades de producción**). En el Diccionario *APICS* se define *sistema de control del taller* como

> Sistema para utilizar datos del piso fabril, así como datos de los archivos de procesamiento, para mantener y comunicar información del estado sobre pedidos y centros de trabajo.

Las principales funciones del control del taller son:

1. Asignar una prioridad a cada pedido a la fábrica.
2. Mantener información sobre volúmenes de trabajos por terminar.
3. Comunicar a la jefatura la información sobre el estado de los pedidos de la fábrica.
4. Proporcionar datos de producción reales para fines de control de capacidad.
5. Proporcionar volúmenes por ubicación por pedido en fábrica para fines de inventario WIP y contabilidad.
6. Medir la eficiencia, utilización y productividad de trabajadores y máquinas.

Gráficas de Gantt

Las plantas pequeñas y los departamentos de plantas grandes aplican las venerables gráficas de Gantt para planificar y rastrear los trabajos. Como se describió en el capítulo 10, una gráfica de Gantt es una especie de gráfica de barras en que se comparan actividades y tiempo. Las gráficas de Gantt se usan para planificación de proyectos, lo mismo que para coordinar diversas actividades programadas. En el ejemplo de la ilustración 19.7 se indica que el trabajo A está retrasado unas cuatro horas, el trabajo B está adelantado y el trabajo C se terminó, después de un inicio demorado por mantenimiento del equipo. Observe que el hecho de que un trabajo esté adelantado o demorado se basa en dónde está respecto del observador. En la ilustración 19.7, el

ILUSTRACIÓN 19.7 Gráfica de Gantt.

Trabajo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
A					
B					
C	Mantenimiento				

Símbolos de la tabla de Gantt

- Inicio de una actividad
- Fin de una actividad
- Programa de tiempo de actividad permitido
- Progreso real del trabajo
- Momento en que se revisa la gráfica
- Tiempo reservado para actividades no productivas; por ejemplo, reparaciones, mantenimiento de rutina, escasez de materiales

observador se encuentra al final del miércoles y el trabajo A debería estar terminado. El trabajo B ya tiene terminada una parte de las labores del jueves.

HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL TALLER

Las herramientas básicas para el control del taller son:

1. La *lista de despacho diario*, que indica al supervisor qué trabajos se realizan, su prioridad y cuánto se tardarán (vea la ilustración 19.8*A*).
2. Diversos *informes de estado y excepción*, como
   a) Informe anticipado de retrasos, realizado por el planificador de la planta una o dos veces por semana y revisado por el jefe de planificadores para ver si hay demoras graves que afecten el programa maestro (vea la ilustración 19.8*B*).
   b) Informes de desechos.
   c) Informes de retrabajos.
   d) Informes sinópticos del desempeño con el número y porcentaje de pedidos completados a tiempo, demoras de trabajos incumplidos, volumen de producción, etcétera.
   e) Lista de faltantes.
3. Un *informe de control de insumos y productos*, con que el supervisor vigila la carga de trabajo y las relaciones de capacidad de cada estación de trabajo (vea la ilustración 19.8*C*).

CONTROL DE INSUMOS Y PRODUCTOS

Control de insumos y productos (I/P)

El **control de insumos y productos (I/P)** es una característica importante de un sistema de control y planificación de la manufactura. Su principal doctrina es que los insumos planificados para las labores del centro de trabajo nunca deben exceder los productos planificados. Cuando los insumos son más que los productos, los trabajos atrasados se acumulan en el centro de trabajo, lo que incrementa los cálculos del tiempo de tránsito para los trabajos que vienen después. Además, cuando los trabajos se acumulan en el centro se generan congestiones, el procesamiento se hace ineficiente y el tránsito de trabajo salido del centro de trabajo se vuelve esporádico (la analogía del control de la capacidad fabril con una corriente de agua en la ilustración 19.9 ejemplifica el fenómeno general). En la ilustración 19.8*C* se muestra un informe de I/P para un centro de trabajo posterior. Si primero se observa la mitad inferior, la de producción, del informe, se ve que esta quedó muy debajo del plan. Da la impresión de que hay un grave problema de capacidad en el centro de trabajo. Sin embargo, un examen a la parte de los insumos del plan revela que el problema de capacidad está en un centro de trabajo anterior que aprovisiona a este centro de trabajo. El proceso de control entrañaría encontrar la causa de los problemas anteriores y ajustar la capacidad y los insumos en consecuencia. La solución básica es simple: aumentar la capacidad en el cuello de botella de la estación o reducir sus insumos (dicho sea de paso, la reducción de los insumos en centros de trabajo con cuellos de botella es el primer paso que recomiendan los asesores de control de producción cuando las plantas fabriles se meten en problemas).

ILUSTRACIÓN 19.8 Algunas herramientas básicas de control del taller.

A. Lista de despacho

Centro de trabajo 1501, día 205

Día de inicio	Trabajo núm.	Descripción	Tiempo de corrida
201	15 131	Eje	11.4
203	15 143	Pestillo	20.6
205	15 145	Huso	4.3
205	15 712	Huso	8.6
207	15 340	Varilla medidora	6.5
208	15 312	Eje	4.6

B. Informe anticipado de demoras

Depto. 24, 8 de abril

Pieza núm.	Fecha progr.	Fecha nueva	Causa de demora	Acción
17 125	10/4	15/4	Elemento roto	Sala de herramientas lo devolverá el 15 de abril
13 044	11/4	1/5	Sin placas; emplacador en huelga	Se abrió nuevo lote
17 653	11/4	14/4	Perforaciones de piezas nuevas no ajustan	Ingeniería dispuso nueva plantilla guía

C. Informe de control de insumos y productos

Centro de trabajo 0162

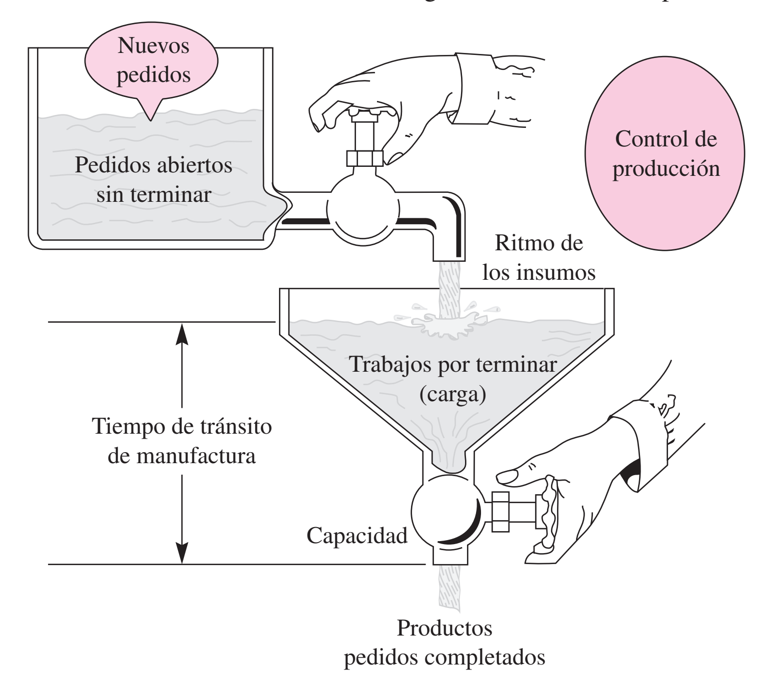
Término de la semana	505	512	519	526
Insumo planificado	210	210	210	210
Insumo real	110	150	140	130
Desviación acumulada	–100	–160	–230	–310
Producción planificada	210	210	210	210
Producción real	140	120	160	120
Desviación acumulada	–70	–160	–210	–300

INTEGRIDAD DE LOS DATOS

En la mayoría de las fábricas modernas, ahora los sistemas de control del taller son computarizados; la información sobre el estado de los trabajos se captura directamente en la computadora conforme el trabajo entra y sale del centro de trabajo. Muchas plantas optan determinadamente por los códigos de barras y los escáneres ópticos para acelerar el proceso de informe y para aminorar los errores de captura de datos. Como se imaginará, los principales problemas del control del taller son la inexactitud de los datos y la falta de oportunidad. Cuando esto sucede, los datos realimentados al sistema general de planificación están equivocados y se toman decisiones de producción incorrectas. Los resultados comunes son exceso de inventario, problemas de agotamiento o ambos, plazos incumplidos e imprecisiones en el costeo de los trabajos.

Desde luego, la integración de los datos exige un sistema de acopio de datos razonable, pero todavía más importante es que todos los que trabajen con el sistema tienen que apegarse a éste. La mayoría de las empresas lo entiende, pero no siempre es fácil sostener lo que se conoce como *disciplina de la planta*, *integración de los datos* o *responsabilidad de los datos*. Y pese a las iniciativas periódicas para difundir la importancia de esmerarse con los informes de la planta

ILUSTRACIÓN 19.9 Tránsito de cargas en el control de capacidad fabril.



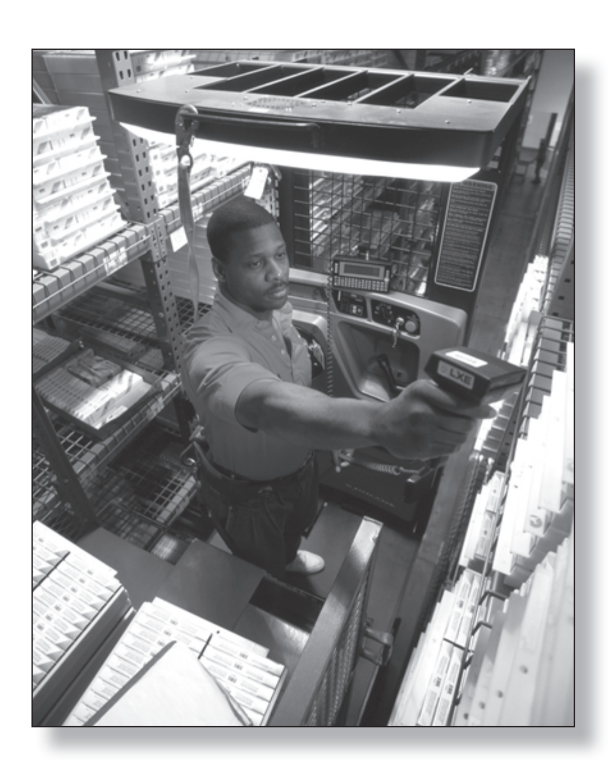
Fuente: "Training Aid—Shop Floor Control", s.f. Reimpreso con autorización de APICS: The Educational Society for Resource Management, Falls Church, Virginia.

por conducto de grupos de integración de datos, de todos modos se cuelan inexactitudes en el sistema, de muchas maneras: a un obrero se le cae un componente bajo su mesa y saca otro de sus existencias, sin registrar ninguno de los dos movimientos; un empleado de inventario comete un error en un conteo de ciclos; un ingeniero de manufactura no anota un cambio en el envío de un componente; o el supervisor de un departamento decide trabajar los pedidos en orden distinto del especificado en la lista de despacho.

PRINCIPIOS DE LA PROGRAMACIÓN DE UN CENTRO DE TRABAJO

Buena parte de la exposición de los sistemas de programación de un centro de trabajo se resume en los principios siguientes:

1. Hay una equivalencia directa entre los flujos de trabajo y de efectivo.
2. La eficacia de toda planta fabril debe medirse por la rapidez del ritmo de manufactura.
3. Programar trabajos es una cadena en la que se siguen una tras otra las etapas de los procesos.
4. Cuando se inicia un trabajo, no debe interrumpirse.
5. La rapidez de producción se acelera al concentrarse en los centros de trabajo que generan cuellos de botella y en los trabajos.
6. Se reprograma todos los días.
7. Se obtiene realimentación todos los días sobre los trabajos que no se completaron en los centros de trabajo.
8. Relacionar la información de los insumos de los centros de trabajo con lo que el trabajador hace realmente.
9. Si se desea mejorar la producción, se deben buscar incompatibilidades entre el diseño de ingeniería y la ejecución de los procesos.



10. En una planta fabril no es posible tener la certidumbre de estándares, trayectorias, etc., pero siempre hay que luchar por conseguirla.

Programación del personal de servicios

Servicio

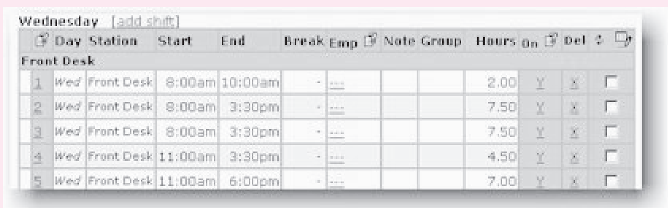
El problema de programar en la mayor parte de las organizaciones de servicio consiste en fijar programas por semana, día y horas para el personal. En esta sección se presentan los métodos analíticos simples para crear esos programas.

INNOVACIÓN

SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN DE EMPLEADOS APLICADO A LA SEGURIDAD

ScheduleSource Inc., de Broomfield, Colorado, ofrece un grupo integrado de herramientas para administrar la mano de obra llamado TeamWork. El centro de TeamWork es un sistema de programación de empleados automático y adaptable. Los beneficios del software TeamWork incluyen características como programas optimizados en internet, programas de cero conflictos, registro de horarios y asistencia, notificaciones por correo electrónico, seguimiento para auditoría, sistema avanzado de rendición de informes y accesibilidad desde cualquier sitio en todo momento. Funciona como sigue:

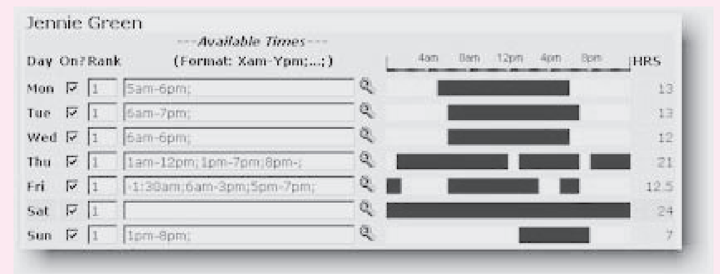
Paso 1: Definir los requisitos de mano de obra.



Wednesday [add shift]

	Day	Station	Start	End	Break	Emp	Note	Group	Hours	On	Del	
Front Desk												
1	Wed	Front Desk	8:00am	10:00am	-	---			2.00	Y	X	☐
2	Wed	Front Desk	8:00am	3:30pm	-	---			7.50	Y	X	☐
3	Wed	Front Desk	8:00am	3:30pm	-	---			7.50	Y	X	☐
4	Wed	Front Desk	11:00am	3:30pm	-	---			4.50	Y	X	☐
5	Wed	Front Desk	11:00am	6:00pm	-	---			7.00	Y	X	☐

Paso 2: Determinar la disponibilidad de empleados.

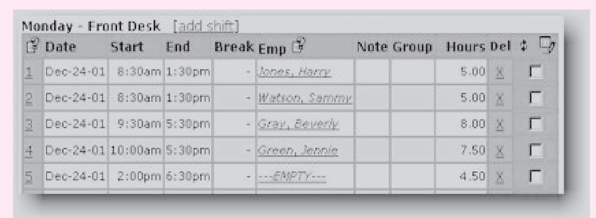


Jennie Green

Day	On?	Rank	---Available Times--- (Format: Xam-Ypm;...;)	4am 8am 12pm 4pm 8pm	HRS
Mon	☑	1	5am-6pm;		13
Tue	☑	1	6am-7pm;		13
Wed	☑	1	6am-6pm;		12
Thu	☑	1	1am-12pm;1pm-7pm;8pm-;		21
Fri	☑	1	-1:30am;6am-3pm;5pm-7pm;		12.5
Sat	☑	1			24
Sun	☑	1	1pm-8pm;		7

Paso 3: Asignar empleados a determinados grupos de habilidades y clasificar su nivel correspondiente de 1 a 10 (1 es novato, 5 es promedio y 10 es sobresaliente).

Paso 4: El software TeamWork elabora automáticamente un programa.



Monday - Front Desk [add shift]

	Date	Start	End	Break	Emp	Note	Group	Hours	Del	
1	Dec-24-01	8:30am	1:30pm	-	Jones, Harry			5.00	X	☐
2	Dec-24-01	8:30am	1:30pm	-	Watson, Sammy			5.00	X	☐
3	Dec-24-01	9:30am	5:30pm	-	Gray, Beverly			8.00	X	☐
4	Dec-24-01	10:00am	5:30pm	-	Green, Jennie			7.50	X	☐
5	Dec-24-01	2:00pm	6:30pm	-	---EMPTY---			4.50	X	☐

Entre los clientes de ScheduleSource se cuenta la Transportation Security Administration (TSA) de Estados Unidos. ScheduleSource generó con éxito programas para más de 44 000 empleados federales de seguridad aeroportuaria en 429 aeropuertos. Se programaron más de 30 millones de turnos en el despliegue de seguridad de los aeropuertos.

ILUSTRACIÓN 19.10 Horas diarias de personal necesarias para programar los horarios de la jornada laboral.

		Función								
		Recepción		Preproceso		Microfilmación		Verificación		Totales
Producto	Volumen diario	*P/H*	H_{est}	*P/H*	H_{est}	*P/H*	H_{est}	*P/H*	H_{est}	H_{est}
Cheques	2 000	1 000	2.0	600	3.3	240	8.3	640	3.1	16.7
Estados de cuenta	1 000	—	—	600	1.7	250	4.0	150	6.7	12.4
Notas	200	30	6.7	15	13.3		—			20.0
Inversiones	400	100	4.0	50	8.0	200	2.0	150	2.7	16.7
Cobros	500	300	1.7			300	1.7	60	8.4	11.8
Horas totales necesarias			14.4		26.3		16.0		20.9	77.6
Por 1.25 (faltas y vacaciones)			18.0		32.9		20.0		26.1	
Dividido entre 8 horas igual a personal requerido			2.3		4.1		2.5		3.3	12.2

Nota: P/H indica el ritmo de producción por hora; H_{est} indica las horas necesarias.

PROGRAMACIÓN DE JORNADAS LABORALES

Servicio

Ahora se va a demostrar cómo se determinan los horarios diarios de trabajo de las operaciones bancarias internas y de oficina de compensación de las sucursales grandes. Básicamente, la administración quiere diseñar un plan de dotación de personal que 1) requiera el menor número de trabajadores para completar la carga diaria y 2) reduzca al mínimo las variaciones entre la producción real y la planificada.

Al estructurar el problema, la gerencia del banco define los insumos (cheques, estados de cuenta, documentos de inversión, etc.) como *productos*, que se canalizan a diferentes procesos o *funciones* (recepción, clasificación, codificación, etcétera).

Para resolver el problema se hace un pronóstico diario de la demanda por cada función. Esto se convierte en las horas de trabajo que se requieren por función, las cuales entonces se convierten en los trabajadores necesarios por función. Estas cifras se tabulan, suman y ajustan según un factor de faltas y vacaciones, para dar las horas planificadas. Luego se dividen entre el número de horas del día laboral para dar el número de trabajadores que se requiere. Esto arroja las horas diarias de personal necesarias (vea la ilustración 19.10). Tal es la base del plan de dotación de personal para los departamentos, en el que se anotan las necesidades de trabajadores, los trabajadores disponibles, variaciones y acciones gerenciales ante las variaciones (vea la ilustración 19.11).

PROGRAMACIÓN DE HORARIOS LABORALES

Servicios como restaurantes enfrentan cambios de necesidades de una hora a la siguiente. Se necesitan más trabajadores en las horas de mayor afluencia y menos entre tanto. La gerencia debe ajustarse todo el tiempo a este cambio de necesidades. Esta situación de programación de personal se aborda merced a una regla sencilla, el *principio de la "primera hora"*. Para una mejor explicación del principio se presenta este ejemplo. Suponga que cada trabajador labora de corrido un turno de ocho horas. La regla de la primera hora sostiene que durante esa primera

ILUSTRACIÓN 19.11 Plan de dotación de personal.

Función	Personal necesario	Personal disponible	Variación (±)	Acciones gerenciales
Recepción	2.3	2.0	–0.3	Usar tiempo extra.
Preproceso	4.1	4.0	–0.1	Usar tiempo extra.
Microfilmación	2.5	3.0	+0.5	Usar exceso para verificar.
Verificación	3.3	3.0	–0.3	Sacar 0.3 de microfilmación.

hora, se asigna un número de trabajadores igual a lo que se necesita en ese lapso. A cada periodo siguiente se asigna el número exacto de trabajadores adicionales para satisfacer las necesidades. Cuando, en un periodo, uno o más trabajadores terminan su turno, se agregan más trabajadores únicamente si se precisan para cubrir las necesidades. En la tabla siguiente se muestran las necesidades de trabajadores de las primeras 12 horas de un restaurante de 24 horas:

	Periodo											
	10 a.m.	**11 a.m.**	**Mediodía**	**1 p.m.**	**2 p.m.**	**3 p.m.**	**4 p.m.**	**5 p.m.**	**6 p.m.**	**7 p.m.**	**8 p.m.**	**9 p.m.**
Necesidades	4	6	8	8	6	4	4	6	8	10	10	6

El programa muestra que se asignan cuatro trabajadores a las 10 a.m., se suman dos a las 11 a.m. y otros dos al mediodía para cubrir las necesidades. Del mediodía a las 5 p.m. se tienen ocho trabajadores en funciones. Observe el exceso de personal entre las 2 y las 6 p.m. Los cuatro trabajadores asignados a las 10 a.m. terminan su turno de 8 horas a las 6 p.m. y se suman otros cuatro, que inician su turno. Los dos trabajadores que empezaron a las 11 a.m. se van a las 7 p.m. y el número de trabajadores disponibles baja a seis. Por eso se asignan cuatro nuevos trabajadores a las 7 p.m. A las 9 p.m. hay 10 trabajadores en funciones, que es más de lo necesario, así que no se asigna a nadie más. El procedimiento continúa según se presenten nuevas necesidades.

	Periodo											
	10 a.m.	**11 a.m.**	**Mediodía**	**1 p.m.**	**2 p.m.**	**3 p.m.**	**4 p.m.**	**5 p.m.**	**6 p.m.**	**7 p.m.**	**8 p.m.**	**9 p.m.**
Necesidades	4	6	8	8	6	4	4	6	8	10	10	6
Asignados	4	2	2	0	0	0	0	0	4	4	2	0
En funciones	4	6	8	8	8	8	8	8	8	10	10	10

Otra opción es dividir los turnos. Por ejemplo, un trabajador puede llegar, laborar cuatro horas y regresar dos horas más tarde a cubrir otras cuatro. El efecto de esta opción en la programación es básicamente semejante a cambiar el tamaño de los lotes en la producción. Cuando los trabajadores comienzan sus labores tienen que registrar su entrada, ponerse el uniforme y, quizá, recibir información necesaria de los trabajadores del turno anterior. Este alistamiento se considera el "costo de preparación" en el contexto fabril. Segmentar los turnos es como tener lotes de producción más pequeños y por ende más preparación. Este problema se resuelve con los métodos de programación lineal descritos en la referencia bibliográfica de Nanda y Browne.

Resumen

En los centros de trabajo de manufactura, la programación depende en buena medida de simulaciones para calcular el tránsito del trabajo por el sistema con el fin de determinar cuellos de botella y ajustar las prioridades laborales. Se encuentran a la venta diversos paquetes de software. En los servicios, el enfoque es sobre la programación de empleados, que se realiza con herramientas matemáticas para establecer horarios de trabajo según la demanda esperada de los clientes. Cualquiera que sea la situación de programación es básico no desaprovechar recursos, como en un programa que trabaja bien para una parte de la organización pero crea problemas en otras o, más importante, que genera problemas a los clientes.

Conceptos clave

Centro de trabajo Área de un negocio en el que se organizan los recursos productivos y se realiza el trabajo.

Carga infinita Sistema en que se asigna el trabajo a un centro de trabajo según lo que se necesite al paso del tiempo. No se considera la capacidad.

Carga finita Cada recurso se programa en detalle con los tiempos de preparación y corrida por cada pedido. El sistema determina exactamente qué se hará con cada recurso en todo momento de la jornada laboral.

Programación progresiva Programación del presente hacia el futuro para señalar la fecha más próxima en que se completa un pedido.

Programación en retroceso Programación que empieza en alguna fecha futura (por lo común, el plazo) y se determinan las operaciones necesarias en secuencia inversa. Indica la fecha más tardía

en que puede iniciarse un pedido para completarlo en una fecha específica.

Proceso limitado por las máquinas Proceso en que la maquinaria es el recurso crucial que se programa.

Proceso limitado por la mano de obra Proceso en que las personas son el recurso clave que se programa.

Despachar Actividad de iniciar un trabajo programado.

Secuencia Proceso de determinar qué trabajo se empieza primero en una máquina o centro de trabajo.

Reglas de prioridad Lógica para determinar la secuencia de trabajos en una fila.

Regla de Johnson Regla de secuencia para programar cualquier número de trabajos en dos máquinas. La regla pretende reducir al mínimo el tiempo requerido para completar todos los trabajos.

Método de asignación Caso especial del método de transporte de programación lineal con que se asigna un número específico de trabajos al mismo número de máquinas.

Control del taller (actividades de producción) Sistema para tomar datos de la planta fabril con el fin de mantener y comunicar información sobre el estado de los pedidos y centros de trabajo.

Control de insumos y productos (I/P) Regla de que el trabajo enviado a un centro de trabajo nunca debe superar la producción planificada. Cuando los insumos superan los productos se acumulan retrasos en el centro de trabajo, los cuales aumentan el tiempo de entrega.

Problema resuelto

Joe's Auto Seat Cover and Paint Shop concursa por un contrato para hacer todo el trabajo sobre pedido para Smiling Ed, distribuidor de automóviles usados. Uno de los principales requisitos para obtener el contrato es la rapidez de las entregas, porque Ed (por motivos que no se tratarán aquí) quiere que sus automóviles se reparen y devuelvan al lote a toda prisa. Ed dijo que si Joe repara y pinta cinco automóviles que acaba de recibir en el plazo de 24 horas o menos, el contrato será suyo. A continuación se anota el tiempo (en horas) que se requiere en el taller de reparaciones y el de pintura para cada uno de los cinco automóviles. Si se supone que los autos pasan por las operaciones de reparación antes del pintado, ¿puede Joe cumplir los requisitos de tiempo y conseguir el contrato?

Auto	Tiempo de reparación (horas)	Tiempo de repintado (horas)
A	6	3
B	0	4
C	5	2
D	8	6
E	2	1

Solución

El problema puede verse como una planta de dos máquinas y es fácil resolverlo con la regla de Johnson. El programa final es B-D-A-C-E.

Si se hace a mano, el problema se resuelve como sigue:

Datos originales			Regla de Johnson	
Auto	Tiempo de reparación (horas)	Tiempo de repintado (horas)	Orden de selección	Posición en la secuencia
A	6	3	4	3
B	0	4	1	1
C	5	2	3	4
D	8	6	5	2
E	2	1	2	5

	0	8	14	19	21
Reparación	D	A	C	E	
Pintura	B $\rightarrow$ 4	D (8 a 14)	A $\rightarrow$ 17	C $\rightarrow$ 21	E $\rightarrow$ 22

Preguntas de repaso y análisis

1. ¿Cuáles son los objetivos de la programación del centro de trabajo?
2. Distinga entre centro de trabajo, celda TG y taller.
3. ¿Qué consideraciones prácticas disuaden del uso de la regla TOB?
4. ¿Con qué regla de prioridad programa su tiempo de estudio para los exámenes semestrales? Si tiene que estudiar para cinco exámenes, ¿cuántas opciones de programación hay?
5. La regla TOB ofrece una solución óptima en diversos criterios de evaluación. ¿El gerente de un banco debe usar la regla TOB como regla de prioridad? ¿Por qué?
6. La integridad de los datos es muy importante en la industria. ¿Por qué?
7. ¿Por qué la división en lotes causa tantos problemas en los centros de trabajo?
8. ¿Qué características laborales lo llevarían a programar los trabajos "primero el de tiempo de procesamiento más demorado"?
9. ¿Por qué es tan importante manejar los cuellos de botella en la programación de centros de trabajo?
10. ¿En qué condiciones es apropiado el método de asignaciones?
11. ¿Qué efecto tiene planificar para un cliente en particular en el programa del personal en un servicio?

Problemas

1. En la tabla siguiente se dan los tiempos de operación y los plazos de cinco trabajos que van a procesarse en una máquina. Asigne los trabajadores de acuerdo con el tiempo de operación más breve y calcule el tiempo promedio de entrega.

Trabajo	Tiempo de procesamiento	Plazo (días faltantes)
101	6 días	5
102	7 días	3
103	4 días	4
104	9 días	7
105	5 días	2

2. El laboratorio MediQuick tiene tres técnicos para procesar muestras de sangre y tres trabajos que hay que asignar. Cada técnico puede hacer solo un trabajo. La tabla siguiente representa el cálculo del laboratorio (en dólares) de lo que costará terminar cada trabajo. Asigne los técnicos a los trabajos para reducir los costos al mínimo.

Trabajo	Técnico A	Técnico B	Técnico C
T-432	11	14	6
T-487	8	10	11
T-492	9	12	7

3. Christine tiene tres automóviles que tiene que poner a punto Megan, su mejor mecánica. Con los siguientes datos sobre los autos, tome el menor tiempo de espera de las operaciones restantes para determinar la prioridad de programación de Megan con cada auto:

Auto	Tiempo para entregar al cliente (horas faltantes)	Tiempo restante de revisión (horas)	Operación restante
A	10	4	Pintura
B	17	5	Alineación y pintura
C	15	1	Cromado, pintura y reparación de asientos

4. Un hotel tiene que programar a sus recepcionistas de acuerdo con sus cargas horarias. La gerencia identificó el número de recepcionistas que se necesitan para satisfacer las necesidades de horas, lo que cambia de un día al otro. Suponga que cada recepcionista trabaja un turno de cuatro horas. Con las siguientes necesidades de personal en determinado día, calcule el programa del personal mediante el principio de la primera hora:

	Periodo											
	8 a.m.	**9 a.m.**	**10 a.m.**	**11 a.m.**	**Mediodía**	**1 p.m.**	**2 p.m.**	**3 p.m.**	**4 p.m.**	**5 p.m.**	**6 p.m.**	**7 p.m.**
Necesidades	2	3	5	8	8	6	5	8	8	6	4	3
Asignados	2	1	2	3	2			6	2			1
En funciones	2	3	5	8	8	7	5	8	8	8	8	3

5. Deben procesarse siete trabajos en dos operaciones: A y B. Los siete trabajos deben pasar por A y B en ese orden: primero A y luego B. Determine el orden óptimo en que deben ordenarse los trabajos en el proceso con estos tiempos:

Trabajo	Tiempo de proceso A	Tiempo de proceso B
1	9	6
2	8	5
3	7	7
4	6	3
5	1	2
6	2	6
7	4	7

6. La siguiente lista de trabajos de un departamento muy importante incluye los cálculos de sus tiempos requeridos:

Trabajo	Tiempo requerido (días)	Días hasta la entrega prometida	Diferencia
A	8	12	4
B	3	9	6
C	7	8	1
D	1	11	10
E	10	–10 (retraso)	–20
F	6	10	4
G	5	–8 (retraso)	–13
H	4	6	2

a) Con la regla del menor tiempo de operación programe estos trabajos.
¿Cuál es el programa?
¿Cuál es el tiempo promedio de tránsito?

b) Al jefe no le gusta el programa del inciso *a*). Los trabajos E y G deben hacerse primero, por razones obvias (ya están retrasados). Programe de nuevo y haga lo mejor que pueda, con los trabajos E y G en primero y segundo lugares, respectivamente.
¿Cuál es la nueva programación?
¿Cuál es el tiempo promedio de tránsito?

7. En la siguiente matriz se muestran los costos en miles de dólares por asignar a los individuos A, B, C y D a los trabajos 1, 2, 3 y 4. Resuelva el problema y muestre sus asignaciones finales para reducir al mínimo los costos.

	Trabajos			
Individuos	**1**	**2**	**3**	**4**
A	7	9	3	5
B	3	11	7	6
C	4	5	6	2
D	5	9	10	12

8. Un centro de manufactura tiene cinco trabajos para programar la producción. En la tabla siguiente se dan los tiempos de procesamiento más los tiempos de espera y otros retrasos necesarios de los trabajos. Suponga que hoy es 3 de abril y que los trabajos tienen los plazos indicados.

Trabajo	Días de procesamiento real requerido	Días de retraso necesario	Tiempo total requerido	Fecha de entrega
1	2	12	14	30 de abril
2	5	8	13	21 de abril
3	9	15	24	28 de abril
4	7	9	16	29 de abril
5	4	22	26	27 de abril

Determine *dos* programas e indiquen el orden en que deben hacerse los trabajos. Aplique en uno la regla de prioridad de la proporción crítica. Para el segundo programa use cualquier otra regla, siempre y cuando la enuncie.

9. Los trabajos A, B, C, D y E deben pasar por los procesos I y II en esa secuencia (primero el proceso I y luego el II). Con la regla de Johnson determine la secuencia óptima en la cual programar los trabajos para reducir al mínimo el tiempo requerido total:

Trabajo	Tiempo requerido de procesamiento en I	Tiempo requerido de procesamiento en II
A	4	5
B	16	14
C	8	7
D	12	11
E	3	9

10. En un centro de trabajo, seis operadores eran los únicos capacitados para operar las cinco máquinas de la planta. El centro tiene demoras considerables y las cinco máquinas están ocupadas todo el tiempo. El único operador que no trabaja en una máquina se ocupa en labores administrativas o en mantenimiento de rutina. Con el programa de valores de cada operador en todas las máquinas determine una asignación óptima. Sugerencia: agregue una columna ficticia con valores de costo cero y resuelva con el método de asignaciones.

	Máquina				
Operador	1	2	3	4	5
A	65	50	60	55	80
B	30	75	125	50	40
C	75	35	85	95	45
D	60	40	115	130	110
E	90	85	40	80	95
F	145	60	55	45	85

11. Joe alcanzó una posición con cierto poder en la institución en la que actualmente reside y trabaja. De hecho, las cosas han marchado tan bien que decidió dividir las operaciones cotidianas de su negocio entre cuatro subordinados de confianza: Big Bob, Dirty Dave, Baby Face Nick y Tricky Dick. La pregunta es cómo debe hacerlo para aprovechar las capacidades peculiares de sus asociados y reducir al mínimo los costos de cubrir todas las áreas hasta el año próximo. En la siguiente matriz se resumen los costos en que se incurre en cada combinación posible de hombres y áreas:

	Área			
Asociado	1	2	3	4
Big Bob	$1 400	$1 800	$ 700	$1 000
Dirty Dave	600	2 200	1 500	1 300
Baby Face Nick	800	1 100	1 200	500
Tricky Dick	1 000	1 800	2 100	1 500

12. Ahora Joe ya no ocupa su puesto en el gobierno. En virtud de su excelente desempeño logró conseguir un trabajo como programador de producción en un nuevo taller de servicio a vehículos de motor que

ofrece acabados a la medida y se encuentra cerca de la frontera. Las técnicas mejoraron en los años que Joe estuvo fuera de circulación, así que los tiempos de proceso son considerablemente menores. El sistema es capaz de procesar 10 automóviles por día. Ahora la secuencia consiste en adaptar primero y pintar después.

Auto	Tiempo de adaptación (horas)	Pintura (horas)	Auto	Tiempo de adaptación (horas)	Pintura (horas)
1	3.0	1.2	6	2.1	0.8
2	2.0	0.9	7	3.2	1.4
3	2.5	1.3	8	0.6	1.8
4	0.7	0.5	9	1.1	1.5
5	1.6	1.7	10	1.8	0.7

¿En qué secuencia debe programar Joe los automóviles?

13. En la tabla siguiente hay información sobre trabajos que deben programarse en una sola máquina.

Trabajo	Tiempo de procesamiento (días)	Plazo
A	4	20
B	12	30
C	2	15
D	11	16
E	10	18
F	3	5
G	6	9

a) ¿Cuál es el programa PEPT (primero en entrar, primero en trabajarse)?
b) ¿Cuál es el programa TOB (tiempo de operación más breve)?
c) ¿Cuál es el programa TOR (tiempo ocioso restante)?
d) ¿Cuál es el programa PPP (primero el plazo más próximo)?
e) ¿Cuál es el tiempo promedio de tránsito de cada uno de los programas anteriores?

14. Programe los siguientes seis trabajos usando dos máquinas en secuencia para reducir al mínimo el tiempo de tránsito con la regla de Johnson:

	Tiempo de operaciones	
Trabajo	Máquina 1	Máquina 2
A	5	2
B	16	15
C	1	9
D	13	11
E	17	3
F	18	7

15. En un restaurante se necesitan los siguientes meseros. Con el principio de la primera hora genere un programa de personal. Suponga un turno de cuatro horas.

	Periodo										
	11 a.m.	Mediodía	1 p.m.	2 p.m.	3 p.m.	4 p.m.	5 p.m.	6 p.m.	7 p.m.	8 p.m.	9 p.m.
Necesidades	4	8	5	3	2	3	5	7	5	4	2
Asignados	4	4				3	2	2			
En funciones	4	8	8	8	4	3	5	7	7	2	2

16. La siguiente matriz contiene los costos (en dólares) correspondientes a la asignación de los trabajos A, B, C, D y E a las máquinas 1, 2, 3, 4 y 5. Asigne los puestos a las máquinas de modo que los costos se reduzcan al mínimo.

Trabajos	Máquinas 1	2	3	4	5
A	6	11	12	3	10
B	5	12	10	7	9
C	7	14	13	8	12
D	4	15	16	7	9
E	5	13	17	11	12

17. Bill Edstrom, gerente asociado de una empresa de asesoría biomédica, le solicitó su consejo experto para idear el mejor programa de los siguientes proyectos de consulta, a partir del 2 de febrero.

	Descripción de la consulta		Visita recibida		
Tarea	Duración	Empresa	Fecha	Hora	Plazo (cierre del negocio)
I	3 días	Novartis Corp.	1 de febrero	9 a.m.	5 de febrero
II	1 día	Reardon Biotech Corp.	1 de febrero	10 a.m.	7 de febrero
III	2 días	Vertex Pharmaceuticals	1 de febrero	11 a.m.	7 de febrero
IV	2 días	OSI Pharmaceuticals	1 de febrero	1 p.m.	7 de febrero

La empresa de consultoría cobra una tarifa fija de $4 000 al día. Las cuatro empresas imponen penalizaciones por retraso. Reardon Biotech cobra $500 por cada día que se retrase la terminación del trabajo de asesoría; Vertex Pharmaceuticals, Novartis y OSI Pharmaceuticals cobran $1 500 por día de retraso.

Prepare varios programas según las siguientes reglas de prioridad: TOB, PEPT, PPP, TOR y otra regla: mayor tiempo de procesamiento (MTP), que ordena los trabajos según el más demorado primero, el segundo más demorado en segundo lugar, etc. En aras de simplicidad, suponga que el trabajo de consulta se realiza siete días a la semana. ¿Qué regla da a Bill el mejor programa? ¿Por qué?

CASO: ¿LOS PACIENTES ESPERAN? NO EN MI CONSULTORIO

Las buenas relaciones entre médicos y pacientes comienzan con que las dos partes lleguen puntuales a las citas. Esto es más importante en mi especialidad: pediatría. A las madres con hijos que tienen problemas menores no les gusta sentarse en la sala de espera con niños de verdad enfermos; y los niños enfermos se ponen incómodos si tienen que esperar mucho.

Pero los retrasos, sea quien sea el culpable, generan problemas en cualquier consultorio. En cuanto uno se demora un poco, a veces es imposible recuperar el tiempo en el transcurso del día. Y aunque es injusto tener en espera a personas que tal vez tengan otras citas, según una encuesta reciente, el paciente promedio de un consultorio calienta la banca casi 20 minutos. Los pacientes lo soportan, pero no les gusta.

Yo no tolero eso en mi consultorio ni creo que usted deba tolerarlo en el suyo. Veo a los pacientes *exactamente* a la hora citada más de 99 veces de cada 100. Por eso hay tantos PA (pacientes agradecidos) en mi atestado consultorio. Es normal que los padres me comenten: "Le agradecemos que nos reciba a tiempo. ¿Por qué otros médicos no lo hacen?" Siempre contesto: "No sé, pero estoy dispuesto a enseñarles a estar a tiempo".

SER REALISTA AL PROGRAMAR CITAS

La clave de una programación acertada es asignar tiempo suficiente a cada consulta, según los servicios requeridos, y mantenerlo. Esto significa que el médico debe fijar su ritmo con cuidado, hay que corregir a las recepcionistas si se apartan del plan y los pacientes tienen que aprender a respetar las horas de las citas.

Al tomar el tiempo de varios pacientes descubrí que se dividen en varias categorías. Reservamos media hora para todo paciente nuevo, 15 minutos para revisar un bebé sano o una enfermedad importante, y 5 o 10 minutos para comprobar una enfermedad o lesión, una vacuna o un problema menor, como verrugas. Desde luego, cada quien asigna sus tiempos en concordancia con su consulta.

Cuando se concede una cita, se le da al paciente una hora concreta, como 10:30 o 2:40. En mi consultorio está absolutamente prohibido decir a un paciente: "Venga en 10 minutos" o "Venga en media hora". La gente interpreta estas instrucciones a su manera y nadie sabe cuándo llegarán.

De rutina, uso tres salas de examen, reservo una cuarta para adolescentes y la quinta es para urgencias. Con tantas salas, no pierdo tiempo esperando a los pacientes y ellos casi nunca tienen que sentarse en la recepción. De hecho, los niños pequeños se quejan de que les falta tiempo para disfrutar los juguetes y rompecabezas de la sala de espera antes de examinarlos, y su madre tiene que dejarlos jugar un rato a la salida.

En un día tranquilo veo de 20 a 30 pacientes entre las 9 de la mañana y las 5 de la tarde. Pero nuestro sistema de citas es flexible y puedo ver hasta 40 o 50 pacientes en el mismo horario, si es preciso. Mire cómo estrechamos el programa:

Mis dos asistentes (o tres en días atareados) tienen instrucciones permanentes de dejar tiempo durante el día para pacientes con enfermedades graves. Tratamos de reservar más espacios en los meses de invierno y en los días que siguen a fines de semana y vacaciones, cuando estamos más ocupados que de ordinario.

Las primeras consultas, para las que destinamos 30 minutos, siempre se programan a la hora o a la media. Si terminamos esas visitas antes de lo pensado, quizá podamos meter a un paciente que hay que ver de inmediato. Si es necesario, podemos reservar dos o tres consultas de 15 minutos entre revisiones comunes. Con estos amortiguadores, tengo la libertad de dedicar otros 10 minutos a un caso grave, a sabiendas de que el tiempo perdido se recupera de inmediato.

A los padres de pacientes nuevos se les pide que lleguen a la consulta unos minutos antes de la hora programada para los trámites iniciales. En ese momento la recepcionista les informa: "El doctor siempre tiene un programa de citas puntuales". Algunos ya lo saben y me escogieron por ese motivo. Pero otros ni siquiera saben que hay doctores que respetan los horarios de las citas, así que nos parece que lo mejor es advertirles en la primera visita.

Acomodo de urgencias

Las urgencias son la excusa más común de los doctores para no apegarse a su programa de citas. Claro, si llega un niño con un brazo roto o el hospital llama con una cesárea de urgencia, obviamente dejo lo demás. Si la interrupción es breve, me las arreglo para ponerme al corriente. Si es probable que se alargue, a los siguientes pacientes se les da la opción de esperar o de tomar una nueva cita. A veces mis asistentes tienen que cambiar todas mis citas de una o dos horas siguientes, pero la mayoría de las interrupciones no tarda más de 10 a 20 minutos, y en general los pacientes prefieren esperar. Luego, trato de meterlos en los espacios reservados para casos graves que requieren citas de último minuto.

Lo importante es que no permito que las urgencias arruinen mi programa de todo el día. Cuando se ajusta una demora, estoy a tiempo para las citas siguientes. La única situación que se me ocurre que trastorna mi programa es que hubiera urgencias simultáneas en el consultorio y el hospital, pero eso nunca ha ocurrido.

Cuando vuelvo con el paciente que dejé, le digo: "Perdón por haberlo hecho esperar, pero tuve una urgencia, una herida grave (o lo que haya sido)". Una respuesta habitual es: "No se preocupe, doctor. En todos los años que tengo de venir, nunca había tenido que esperar. Y claro que quiero que usted salga si *mi* hijo se lastima".

Aparte de las urgencias, pocos pacientes llegan de improviso, porque en general se sabe en la comunidad que solo veo pacientes con cita, salvo en situaciones de urgencia. Una visita que no es de urgencia se maneja como se haría con una llamada telefónica. La recepcionista pregunta si el visitante quiere asesoría o una consulta. Si es una consulta, le ofrece la primera hora disponible para casos no graves.

Domesticar el teléfono

Si usted lo permite, las llamadas telefónicas de los pacientes sabotean un programa de citas. No lo permita. A diferencia de otros pediatras, no tengo un horario telefónico regular, sino que mis asistentes manejan las llamadas de los padres en cualquier momento durante las consultas. Si la pregunta es sencilla, como: "¿Qué dosis de aspirina se da a un niño de un año?", el asistente la contesta. Si es necesario que conteste yo una pregunta, el asistente la escribe en la cartilla del paciente y me la lleva mientras veo a otro niño. Escribo la respuesta o la asistente la anota en la cartilla y la transmite a quien llama.

¿Qué pasa si el que llama insiste en hablar conmigo? La respuesta ordinaria es: "El doctor hablará con usted si no se tarda más de un minuto. En otro caso, tendrá que sacar una cita y presentarse". Es raro que me llamen por teléfono en esos casos, pero si la madre está muy inquieta, prefiero hablar con ella. No siempre la limito a un minuto; puedo dejar que la conversación se extienda a dos o tres, pero quien llama sabe que dejé a un paciente para tomar la llamada, así que trata de no extenderse.

Tratar con los impuntuales

Algunas personas siempre llegan tarde; otras tienen motivos legítimos para demoras ocasionales, como una llanta ponchada o "Se me vomitó encima". Como sea, soy muy inflexible y no los veo de inmediato si llegan a la consulta más de 10 minutos tarde, porque, de hacerlo, retrasaría a los pacientes que llegaron a tiempo. Quien llegue menos de 10 minutos tarde pasa en seguida, pero se le recuerda a qué hora era la cita.

Cuando pasaron exactamente 10 minutos del tiempo reservado para un paciente y no ha llegado, una recepcionista llama a su casa para concertar una cita más tarde. Si no contestan y el paciente llega al consultorio minutos después, la recepcionista le dice amablemente: "Lo estuvimos esperando. El doctor tuvo que seguir con sus otras citas, pero le abrirá un espacio en cuanto pueda". Entonces se hace una anotación en la cartilla con la fecha, la demora y si fue atendido ese día o se le dio otra cita. Así identificamos a los raros infractores crónicos y, de ser necesario, se aplican medidas más firmes.

A la mayoría de las personas no les importa esperar si saben que son la causa de la demora. Yo prefiero provocar la ira de la persona a la que *sí* le importa antes que correr el riesgo de ganarme la mala voluntad de los muchos pacientes que tendrían que esperar a pesar de haber llegado a tiempo. Estoy preparado para ser firme con los pacientes, pero casi nunca es necesario. Mi consultorio no parece un campo militar; por el contrario, a casi todo mundo le agrada la forma en que trabajamos y lo expresa a menudo.

Tratar con los faltistas

¿Qué hacemos con el paciente que tiene una cita, no se presenta y no contesta el teléfono? También estos hechos se anotan en la cartilla. Casi siempre hay una explicación sencilla, como que salieron de la ciudad y se les olvidó la cita. Si pasa por segunda ocasión, seguimos el mismo procedimiento; pero la tercera vez el infractor recibe una carta en la que se le recuerda que se reservó tiempo para él y que faltó a tres citas. En el futuro, se le aclara, se le va a facturar el tiempo perdido.

Es lo más que hacemos con las pocas personas que no respetan nuestro programa. Nunca he despedido a un paciente por esto. De hecho, no recuerdo que hayamos facturado a nadie por no presentarse; parece que se curan con la carta de advertencia. Cuando regresan (casi todos regresan) gozan del mismo respeto y ventajas de los demás pacientes.

Preguntas

1. ¿Qué características del sistema de programación de citas fueron cruciales para tener "tantos pacientes agradecidos"?
2. ¿Qué procedimientos se siguieron para que el sistema de citas fuera flexible y así diese cabida a los casos de urgencia y conservar las citas de los demás pacientes?
3. ¿Cómo se manejan casos especiales, como impuntualidades y ausencias?

4. Prepare un programa que empiece a las nueve de la mañana para los siguientes pacientes del doctor Schafer:

Johnny Appleseed, escayola en el pulgar izquierdo.
Mark Borino, paciente nuevo.
Joyce Chang, paciente nueva.
Amar Gavhane, temperatura de 39.1 °C.
Sarah Goodsmith, vacuna.
Tonya Johnston, revisión de rutina.
JJ López, paciente nuevo.
Ángel Ramírez, revisión de rutina.
Bobby Toolright, revisión de esguince de tobillo.
Rebecca White, paciente nueva.
El doctor Schafer empieza a trabajar a las nueve de la mañana en punto y disfruta de un descanso entre 10:15 y 10:30 de la mañana.

Aplique la regla de la prioridad que maximiza la eficiencia de la programación. Indique si acaso detecta que pudiera surgir una excepción a esta regla de la prioridad. Redondee al alza los tiempos anotados en el estudio de caso (es decir, si en el caso se estipulan cinco o 10 minutos, para fines del problema suponga 10 minutos).

Fuente: W. B. Schafer, "Keep Patients Waiting? Not in my Office", *Medical Economics*, 12 de mayo de 1986, pp. 137-141.

Cuestionario

1. Con este término se denomina en la actualidad un sistema que programa, despacha, da seguimiento, vigila y controla la producción.
2. Esto es cuando se asigna trabajo a centros de trabajo solo con base en cuándo se necesita. No se consideran los recursos necesarios para completar el trabajo.
3. Esto es cuando se elaboran programas detallados que consideran tiempos de inicio y operación requeridos para cada pedido.
4. Esto es cuando un trabajo se programa desde un punto en el tiempo y hacia el futuro, y en esencia otorga el tiempo más breve para completar el trabajo.
5. Esto es cuando un trabajo se programa para indicar el tiempo en que debe iniciar, de modo que se complete en una fecha especificada.
6. Si fuera usted a acuñar la frase "doble limitación" respecto de los recursos que se programan, ¿de cuáles dos recursos es probable que se trate?
7. Para un problema de programación de una sola máquina, ¿qué regla de prioridad garantiza que el promedio (media) de tiempo de tránsito se reduzca al mínimo?
8. Considere los siguientes tres trabajos que necesitan ejecutarse en dos máquinas en secuencia: A(3 1), B(2 2) y C(1 3), donde el tiempo de ejecución en la primera y segunda máquinas se da entre paréntesis. ¿En qué orden deben ejecutarse los trabajos para reducir al mínimo el tiempo total de terminación de los tres trabajos?
9. De acuerdo con APICS, este es un sistema para utilizar datos del piso de taller, así como archivos de procesamiento de datos para mantener y comunicar información del estado de los pedidos de taller y centros de trabajo.
10. Así se llama el recurso que limita la salida de un proceso al limitar su capacidad.

1. Sistema de ejecución de manufactura 2. Programación infinita 3. Programación finita 4. Programación progresiva 5. Programación en retroceso 6. Mano de obra y equipo (máquinas) 7. Tiempo de operación más breve 8. C B A 9. Control del taller (o actividad de producción) 10. Cuello de botella

Bibliografía seleccionada

Baker, K. R., *Introduction to Sequencing and Scheduling*, 2004 (edición actual disponible con el autor).

Blochlige, I., "Modeling Staff Scheduling Problems: A Tutorial", *European Journal of Operational Research* 158, núm. 3, 1 de noviembre de 2004, p. 533.

Brucker, P., *Scheduling Algorithms,* 5a. ed., Berlín, Springer Verlag, 2007.

Conway, R. W., W. L. Maxwell y L. W. Miller, *Theory of Scheduling,* Mineola, Nueva York, Dover Publications, 2003.

Ernst, A. T., H. Jiang, M. Krishnamoorthy, B. Owens y D. Sier, "An Annotated Bibliography of Personal Scheduling and Rostering", *Annals of Operations Research* 127, núms. 1-4, marzo de 2004, pp. 21-25.

Gang, Y., J. Pachon, B. Thengvall, D. Chandler y A. Wilson, "Optimizing Pilot Planning and Training for Continental Airlines", *Interfaces* 34, núm. 4, julio/agosto de 2004, pp. 253-265.

Hollman, L., *Call Center Magazine* 16, núm. 4, abril de 2003, pp. 28-38.

Kirchmier, B. y G. I. Plenert, *Finite Capacity Scheduling,* Nueva York, Wiley, 2002.

Nanda, R. y J. Browne, *Introduction to Employee Scheduling,* Nueva York, Van Nostrand Reinhold, 1992.

Pinedo, M., *Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems,* 2a. ed., Upper Saddle River, Nueva Jersey, Prentice Hall, 2002.

Capítulo 19A

SIMULACIÓN

Después de leer este capítulo, usted:

1. Reconocerá los conceptos clave relacionados con la simulación de un suceso discreto.
2. Entenderá cómo se construyen los modelos de simulación.
3. Verá ejemplos de simulaciones elaboradas con hojas de cálculo.
4. Comparará las ventajas y desventajas de una simulación.

La simulación se ha convertido en una herramienta estándar en los negocios. En manufactura, se utiliza para determinar los programas de producción, niveles de inventario y procedimientos de mantenimiento; planificar capacidad, requisitos de recursos y procesos; y más. En servicios, se emplea ampliamente para el análisis de filas de espera y programación de operaciones. Muchas veces, cuando falla una técnica matemática, se recurre a la simulación.

Servicio

Definición de simulación

Si bien el término *simulación* tiene varios significados según su aplicación, en negocios suele referirse a los experimentos en computadora del modelo de un sistema real. Ejemplos de otros tipos de simulación son los simuladores de vuelo, juegos de video y animación virtual. Los experimentos de simulación se efectúan antes de que el sistema real entre en operación a fin de ayudar en su diseño, ver cómo reaccionaría el sistema a los cambios en sus reglas operativas o evaluar la respuesta del sistema a los cambios de su estructura. La simulación es adecuada sobre todo en situaciones en que el tamaño o la complejidad del problema dificulta o imposibilita el uso de técnicas de optimización. Por eso se estudiaron extensamente los talleres fabriles, caracterizados por problemas de filas de espera complejos, mediante la simulación, al igual que ciertos problemas de inventario, distribución de planta y mantenimiento (por mencionar algunos). La simulación también se aplica junto con técnicas científicas tradicionales de gestión y estadística.

Además, la simulación es útil para entrenar a los gerentes y trabajadores en cuanto a la operación del sistema real porque demuestra los efectos de los cambios en las variables del sistema, el control en tiempo real y el desarrollo de nuevas ideas para dirigir el negocio.

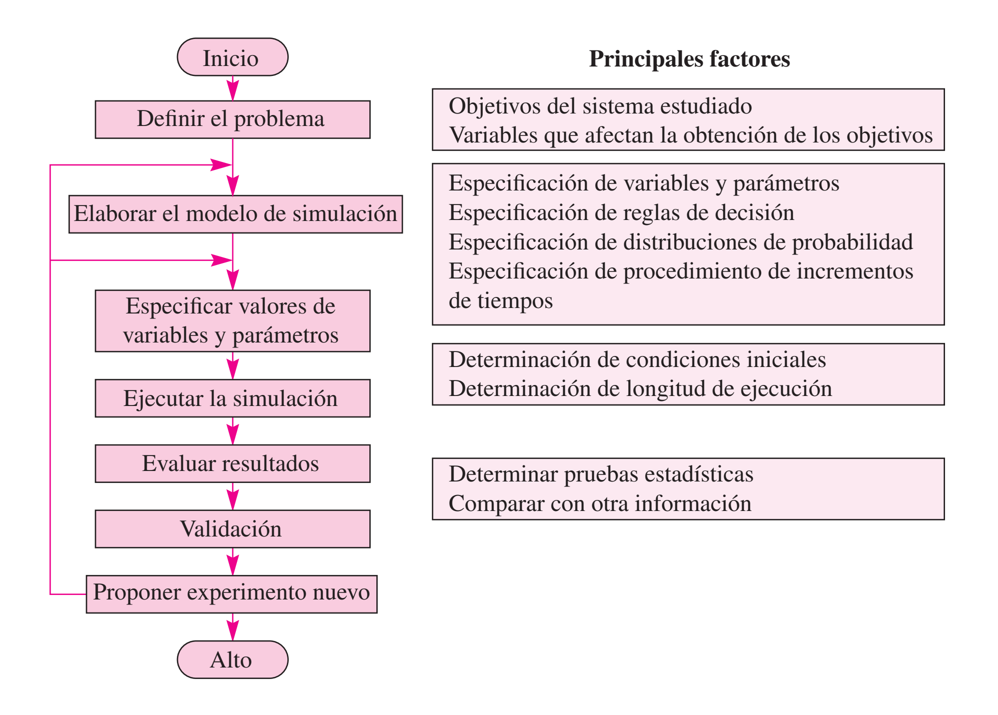
Metodología de la simulación

En la ilustración 19A.1 se presenta un diagrama de flujo de las principales etapas de un estudio de simulación. En esta sección se ve cada etapa con una referencia particular a los factores clave observados a la derecha del diagrama.

Definición del problema

La definición del problema para efectos de simulación difiere un poco de la definición del problema para cualquier otra herramienta de análisis. Básicamente, implica especificar objetivos e identificar las variables relevantes controlables e incontrolables del sistema que se va a estudiar. Un ejemplo es el mercado del pescado. El objetivo del propietario de la pescadería es maximizar la ganancia sobre la venta del pescado. La variable relevante controlable (es decir, bajo control de quien toma las decisiones) es la regla que rige el pedido, mientras las variables relevantes incontrolables son los niveles de demanda diarios de pescado y la cantidad vendida. También se puede especificar otro objetivo posible, como maximizar las ganancias por la venta de langosta o maximizar el ingreso de las ventas.

ILUSTRACIÓN 19A.1
Fases principales de un estudio de simulación.



ELABORACIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN

Una característica que distingue a la simulación de las técnicas como la programación lineal o la teoría de filas es que un modelo de simulación debe elaborarse conforme a las necesidades de cada situación del problema (por el contrario, un modelo de programación lineal se usa en varias situaciones con solo restablecer los valores de la función objetivo y las ecuaciones de restricción). Sin embargo, existen lenguajes de simulación que facilitan la elaboración del modelo, los cuales se comentarán más adelante en este capítulo. La naturaleza única de cada modelo de simulación significa que los procedimientos analizados en adelante para la elaboración y ejecución de un modelo representan una síntesis de varios enfoques para la simulación y que son lineamientos en vez de reglas rígidas.

Parámetros
Variables

Especificación de variables y parámetros El primer paso en la elaboración de un modelo de simulación es determinar las propiedades del sistema real que deben ser fijas (denominadas **parámetros**) y a cuáles se les debe permitir que varíen durante la ejecución de la simulación (llamadas **variables**). En una pescadería, las variables son la cantidad de pescado pedido, la demanda y el volumen de ventas; los parámetros son el costo y el precio de venta del pescado. En la mayoría de las simulaciones, el enfoque está en la condición de las variables en diferentes momentos, como los kilos de pescado demandados y vendidos al día.

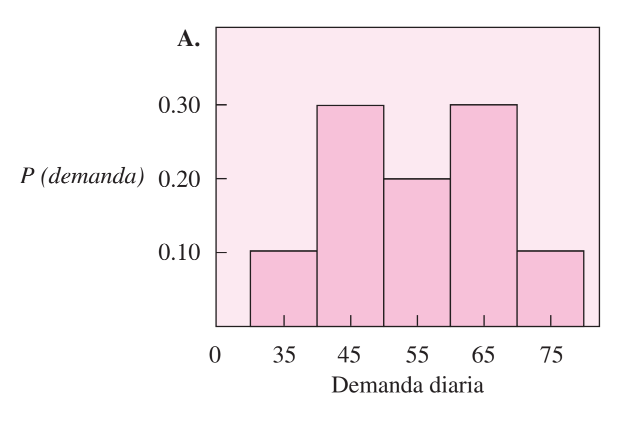
Reglas de decisión

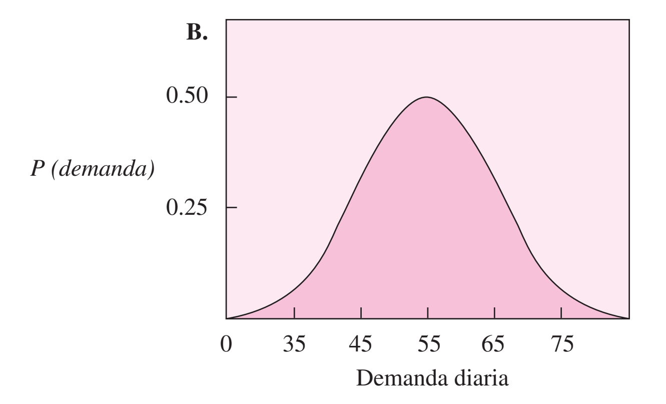
Especificación de reglas de decisión Las **reglas de decisión** (o reglas operativas) son conjuntos de condiciones en los que se observa el comportamiento del modelo de simulación. Estas reglas son el enfoque directo o indirecto de casi todos los estudios de simulación. En muchas simulaciones, las reglas de decisión son prioritarias (por ejemplo, a qué cliente atender primero o qué trabajo procesar primero). En ciertas situaciones son muy útiles si se toma en cuenta una gran cantidad de variables en el sistema. Por ejemplo, se puede establecer una regla de pedidos de inventario de modo que la cantidad por pedir dependa de la cantidad en inventario, de la cantidad ya pedida mas no recibida, de la cantidad de pedidos acumulados atrasados y del inventario de seguridad deseado.

Distribuciones

Especificación de las distribuciones de probabilidad Para la simulación se aplican dos categorías de **distribuciones**: las distribuciones empíricas de frecuencia y las distribuciones estándar matemáticas. Una distribución empírica se obtiene al observar las frecuencias relativas de cierto hecho, como la llegada en una línea o la demanda de un producto. Es decir, se trata de una distribución de demanda elaborada según las necesidades que solo es relevante para

ILUSTRACIÓN 19A.2 Distribución real de demanda y distribución normal con la misma media.





una situación particular. Puede verse como la presentada a la izquierda de la ilustración 19A.2. Dichas distribuciones se determinan por observación directa o análisis detallado de registros (su uso se mostrará en el ejemplo de simulación de filas de espera). Pero, por ejemplo, muchas veces se puede suponer de manera razonable que la demanda está muy vinculada a una distribución estándar matemática, como la normal o Poisson. Lo anterior simplifica en gran medida la recopilación y cálculo de datos.

EJEMPLO 19A.1: Relación de números aleatorios con una distribución estándar

Paso por paso

Para ilustrar cómo se relacionan los números aleatorios con una distribución estándar, imagine que la demanda diaria de periódicos de una máquina expendedora se distribuye de manera normal con una media de 55 y que la desviación estándar es de 10 (esta distribución se muestra a la derecha en la ilustración 19A.2). Con esta suposición, la generación de demanda diaria requeriría una tabla de números (o desviaciones) normales distribuidos aleatoriamente (n) junto con la fórmula estadística $D_n = \bar{x} + Z_n \sigma$ (los términos se definen después).[1]

Solución

1. Anote un número de cinco o seis dígitos de la ilustración 19A.3. Las cifras en esta tabla son valores desviados generados al azar que corresponden a una distribución normal con una media de 0 y una desviación estándar de 1. El término *desviación* se refiere al número de desviaciones estándar a que se encuentran algunos valores a partir de la media, y en ese caso representa el número de desviaciones

ILUSTRACIÓN 19A.3 Números normales distribuidos aleatoriamente.

1.23481	–1.66161	1.49673	–.26990	–.23812	.34506
1.54221	.02629	1.22318	.52304	.18124	.20790
.19126	1.18250	1.00826	.24826	–1.35882	.70691
–.54929	–.87214	–2.75470	–1.19941	–1.45402	.16760
1.14463	–.23153	1.11241	1.08497	–.28185	–.17022
–.63248	–.04776	–.55806	.04496	1.16515	2.24938
–.29988	.31052	–.49094	–.00926	–.28278	–.95339
–.32855	–.93166	–.04187	–.94171	1.64410	–.96893
.35331	.56176	–.98726	.82752	.32468	.36915
.72576					
.04406					

[1] La fórmula básica es $Z = \frac{x-\mu}{\sigma}$, que cuando se representa en términos de x aparece como $x = \mu + Z\sigma$. Después se sustituyó D_n por x y $\bar{x}$ por μ para relacionar más directamente el método con el problema de muestra.

estándar a que se encuentra cualquier demanda del día de la demanda media. En la fórmula anterior, D_n sería el valor para Z el día n. Si se simula el día 1 y se usa la primera cifra de la ilustración 19A.3, entonces $Z_1 = 1.23481$. Un valor de desviación negativo solo significa que el nivel particular de demanda sería inferior a la media y no que la demanda fuera un valor negativo.

2. Sustituya el valor de Z_1, junto con los valores predeterminados para x y σ, en la fórmula

$$D_n = \bar{x} + Z_n\sigma$$

donde

D_n = Demanda el día n
$\bar{x}$ = Demanda media (que en este ejemplo es 55)
σ = Desviación estándar estimada (que en este ejemplo es 10)
Z_n = Número de desviaciones estándar de la media el día n

Así, $D_n = 55 + (1.23481)(10)$.

3. Se despeja D_n:

$$D_n = 55 + 12.3481$$
$$D_n = 67.3481$$

4. Repita los pasos 1 a 3 con diferentes desviaciones normales de la tabla hasta haber simulado el número de días deseado. ●

Especificación del procedimiento para incrementar el tiempo En un modelo de simulación, el tiempo aumenta con uno de dos métodos: 1) incrementos fijos o 2) incrementos variables. En ambos métodos de **incrementos de tiempo** es importante el concepto de un reloj simulado. En el método de incremento de tiempo fijo se especifican los incrementos uniformes de tiempo del reloj (como minutos, horas o días) y la simulación continúa por intervalos fijos de un periodo al siguiente. En cada punto de tiempo de reloj se rastrea el sistema para determinar si ocurre algún suceso. De ser así, se simulan los sucesos y avanza el tiempo; de lo contrario, el tiempo de todas maneras avanza una unidad.

Incrementos de tiempo

En el método de incremento de tiempo variable, el tiempo del reloj avanza la cantidad requerida para iniciar el siguiente suceso.

¿Cuál es el método más conveniente? La experiencia indica que es más recomendable el incremento de tiempo fijo cuando los sucesos de interés ocurren con regularidad o la cantidad de sucesos es grande y normalmente ocurren varios en el mismo periodo. Por lo general se prefiere el método de incremento de tiempo variable, cuya ejecución de cómputo tarda menos cuando se presentan relativamente pocos sucesos en una cantidad considerable de tiempo. Ignora los intervalos en los que no sucede nada y avanza de inmediato al siguiente punto cuando se presenta algún suceso.

ESPECIFICACIÓN DE VALORES DE VARIABLES Y PARÁMETROS

Por definición, el valor de una variable cambia conforme avanza la simulación, aunque se le debe dar un valor inicial. Cabe recordar que el valor de un parámetro permanece constante; sin embargo, puede cambiar conforme se estudian diferentes alternativas en otras simulaciones.

Determinación de condiciones iniciales La determinación de condiciones iniciales para las variables es una decisión táctica importante en la simulación. Lo anterior se debe a que el modelo se sesga por una serie de valores iniciales hasta que llega a un estado estable. Para manejar este problema, los analistas han seguido varios planteamientos como 1) descartar los datos generados durante las primeras partes de la ejecución, 2) seleccionar las condiciones iniciales que reducen la duración del periodo de calentamiento o 3) seleccionar las condiciones iniciales que eliminan el sesgo. Sin embargo, para emplear cualquiera de estas opciones, el analista debe tener una idea de la amplitud esperada de datos de salida. Por tanto, en cierto sentido, el analista sesga los resultados. Por otro lado, una de las características únicas de la simulación es que permite la crítica en el diseño y análisis de la simulación; así, si el analista tiene cierta información pertinente para un problema, se debe incluir.

Determinación de duración de la ejecución La duración de la ejecución de simulación (**duración de la ejecución** o **tiempo de ejecución**) depende del propósito de la simulación. Quizá el planteamiento más común sea continuar la simulación hasta lograr un equilibrio. En el ejemplo del mercado de pescado, significaría que las ventas simuladas de pescado corresponden a sus frecuencias relativas históricas. Otro planteamiento es ejecutar la simulación durante un periodo establecido como un mes, un año o una década y ver si las condiciones al final del periodo son razonables. Un tercer planteamiento es establecer la duración de la ejecución de modo que se obtenga una muestra lo bastante grande para efectos de pruebas de hipótesis estadística. Esta opción se considera en la siguiente sección.

Duración (tiempo) de la ejecución

Evaluación de los resultados

Desde luego, las conclusiones que se obtienen de una simulación dependen del grado en que el modelo refleje el sistema real, pero también del diseño de la simulación en un sentido estadístico. De hecho, muchos analistas consideran la simulación una forma de prueba de hipótesis, pues cada una ofrece una o más piezas de datos muestrales pertinentes para un análisis formal mediante los métodos estadísticos inferenciales. Los procedimientos estadísticos comunes para la evaluación de resultados de simulación incluyen el análisis de varianza, análisis de regresión y pruebas *t*.

En la mayoría de las situaciones, el análisis tiene más información disponible con la cual comparar los resultados de simulación: datos operativos antiguos del sistema real, datos operativos del desempeño de sistemas semejantes y la percepción del analista de la operación del sistema real. Sin embargo, se debe admitir que la información obtenida de estas fuentes tal vez no baste para validar las conclusiones provenientes de la simulación. Por tanto, la única prueba real de una simulación es qué tan bien se desempeña el sistema real después de implantar los resultados del estudio.

Validación

En este contexto, *validación* se refiere a poner a prueba el programa de computación para garantizar que la simulación esté bien. Específicamente, es una verificación para corroborar si el código de la computadora es una traslación válida del modelo de diagrama de flujo y si la simulación representa adecuadamente al sistema real. Pueden surgir errores en el programa debido a errores de codificación o en la lógica. Los errores de codificación suelen detectarse con facilidad porque es muy probable que la computadora no ejecute el programa. Sin embargo, los errores en la lógica son más difíciles. En estos casos el programa se ejecuta, pero no genera los resultados correctos.

Para resolver este problema, el analista tiene tres opciones: 1) imprimir los cálculos del programa y verificarlos mediante un cómputo separado, 2) simular las condiciones actuales y comparar los resultados con el sistema existente o 3) elegir un punto en la ejecución de simulación y comparar su resultado con la respuesta obtenida al solucionar un modelo matemático relevante de la situación en ese punto. Aunque los primeros dos planteamientos tienen desventajas evidentes, es más probable que se prefieran respecto del tercero porque, si se tuviera en mente un modelo matemático relevante, quizá el problema se resolvería sin ayuda de la simulación.

Proposición de un nuevo experimento

Con base en los resultados de simulación, es posible que se tenga un nuevo experimento de simulación. Se pueden cambiar muchos factores: parámetros, variables, reglas de decisión, condiciones de inicio y duración de la ejecución. Respecto de los parámetros, quizá sea interesante repetir la simulación con varios costos o precios diferentes de un producto y ver los cambios que se generarían. Obviamente, lo conveniente sería intentar diferentes reglas de decisión si las reglas iniciales arrojan malos resultados o si estas ejecuciones produjeron nuevas perspectivas del problema (el procedimiento de usar el mismo conjunto de números aleatorios es un planteamiento general adecuado porque acentúa las diferencias entre las opciones y permite ejecuciones más breves). Además, los valores del experimento anterior también pueden ser condiciones iniciales útiles para las simulaciones subsecuentes.

Por último, si los ensayos con diferentes duraciones de ejecuciones constituyen un nuevo experimento o son una duplicación de un experimento anterior, esto depende de los tipos de sucesos que se presenten al cabo del tiempo en la operación del sistema. Por ejemplo, puede ser que el sistema tenga más de un nivel de operación estable y que llegar al segundo nivel dependa del tiempo. Por consiguiente, aunque la primera serie de ejecuciones de, digamos, 100 periodos muestre condiciones estables, duplicar la duración de las series puede arrojar condiciones nuevas y diferentes aunque igualmente estables. En este caso, ejecutar una simulación de más de 200 periodos se consideraría un experimento nuevo.

MÉTODOS POR COMPUTADORA

Al usar un modelo por computadora, el sistema que se va a estudiar se reduce a una representación simbólica que se ejecutará en ella. Aunque el detalle de los aspectos técnicos del modelo por computadora rebasa el alcance de este libro, algunos que repercuten directamente en la simulación son:

1. Selección de lenguaje de computadora.
2. Elaboración de diagramas de flujo.
3. Codificación.
4. Generación de datos.
5. Reportes de salida.
6. Validación.

Al final de este capítulo se estudian más los programas y lenguajes de simulación.

Reportes de salida Los lenguajes de propósito general permiten al analista especificar el tipo de reporte de salida (o datos) deseado, siempre que se esté dispuesto a pagar el precio de la programación. Los lenguajes de propósito especial tienen rutinas estándar que se activan con uno o dos comandos del programa para imprimir datos como medias, varianzas y desviaciones estándar. Sin embargo, independientemente del lenguaje, la experiencia indica que tener demasiados datos en una simulación puede ser tan disfuncional para la solución de problemas como contar con muy pocos datos. Ambas situaciones suelen opacar información importante y realmente significativa acerca del sistema en estudio.

Simulación de filas de espera

Las filas de espera que ocurren en serie y en paralelo (como líneas de ensamble y centros de trabajo) por lo común no se resuelven matemáticamente. Sin embargo, como las filas de espera muchas veces se simulan por computadora, se eligió como segundo ejemplo de simulación una línea de ensamble de dos etapas.

EJEMPLO: LÍNEA DE ENSAMBLE DE DOS ETAPAS

Se considera una línea de ensamble que fabrica un producto de tamaño físico significativo, como un refrigerador, estufa, automóvil, lancha, televisión o mueble. La ilustración 19A.4 muestra dos estaciones de trabajo en una línea así.

El tamaño del producto es una consideración importante del análisis de la línea de ensamble y el diseño porque la cantidad de productos en cada estación de trabajo afecta el desempeño del trabajador. Si el producto es grande, entonces las estaciones de trabajo dependen entre sí. Por ejemplo, la ilustración 19A.4 muestra que Bob y Ray trabajan en una línea de dos etapas donde la producción de Bob en la estación 1 alimenta a la estación 2 de Ray. Si las estaciones de trabajo están contiguas de modo que no hay espacio intermedio para las piezas, entonces Bob, si trabaja despacio, haría esperar a Ray. Si, por el contrario, Bob termina rápido (o si Ray tarda más en terminar la tarea), entonces Bob debe esperar a Ray.

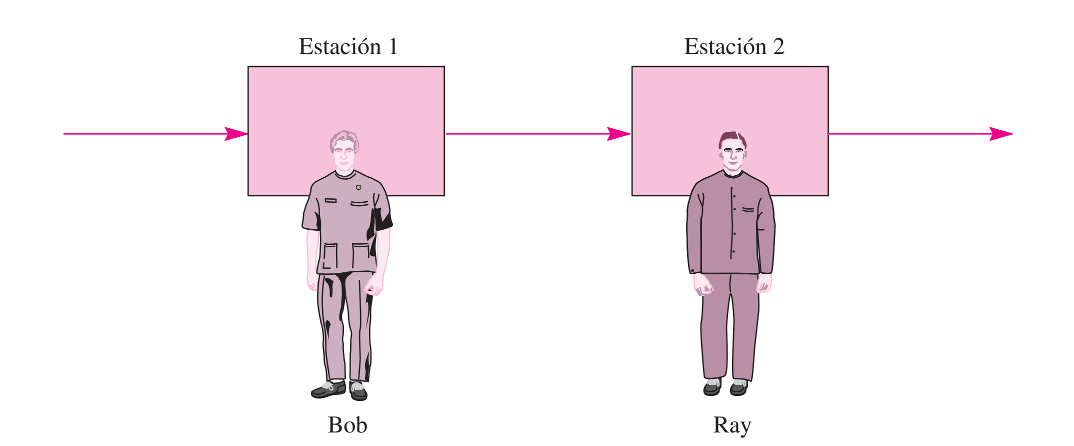


ILUSTRACIÓN 19A.4 Dos estaciones de trabajo en una línea de ensamble.

En esta simulación se supone que Bob, el primer trabajador de la línea, saca una pieza nueva para trabajarla cuando sea necesario. Este análisis se centrará en la interacción entre Bob y Ray.

Objetivo del estudio Se deben contestar varias preguntas sobre la línea de ensamble de este estudio. Una lista parcial sería:

- ¿Cuál es el tiempo de desempeño promedio de cada trabajador?
- ¿Cuál es el ritmo de elaboración del producto de esta línea?
- ¿Cuánto tiempo espera Bob a Ray?
- ¿Cuánto tiempo espera Ray a Bob?
- Si el espacio entre las dos estaciones aumentara de modo que ahí se almacenaran las piezas y los trabajadores tuvieran cierta independencia, ¿de qué manera afectaría los ritmos de producción, tiempos de espera, etcétera?

Recopilación de datos Para simular este sistema se necesitan los tiempos de desempeño de Bob y Ray. Una forma de recopilar estos datos es dividir el rango de tiempo de servicio en intervalos y después observar a cada trabajador. Una simple marca en cada segmento genera un histograma de datos útil.

En la ilustración 19A.5 se presenta una forma de recopilación de datos para observar el desempeño de Bob y Ray. Para simplificar el procedimiento, el rango de tiempo de servicio se dividió en intervalos de 10 segundos. Se observó a Bob durante 100 repeticiones del trabajo y a Ray solo 50 veces. El número de observaciones no tiene que ser el mismo, pero cuantas más haya y menores sean los segmentos de tiempo, más preciso será el estudio. La diferencia es que más observaciones y segmentos más pequeños requieren más tiempo y personas (así como más tiempo para programar y ejecutar una simulación).

ILUSTRACIÓN 19A.5 Formato para vaciar datos de la observación de trabajadores.

Segundos para completar la actividad	Bob		Ray	
		Totales		Totales
5-14.99	IIII	4	IIII	4
15-24.99	𝍸 I	6	𝍸	5
25-34.99	𝍸 𝍸	10	𝍸 I	6
35-44.99	𝍸 𝍸 𝍸 𝍸	20	𝍸 II	7
45-54.99	𝍸 𝍸 𝍸 𝍸 𝍸 𝍸 𝍸 𝍸	40	𝍸 𝍸	10
55-64.99	𝍸 𝍸 I	11	𝍸 III	8
65-74.99	𝍸	5	𝍸 I	6
75-84.99	IIII	4	IIII	4
		100		50

ILUSTRACIÓN 19A.6
Intervalos de números aleatorios de Bob y Ray.

Segundos	Frecuencias de tiempos de Bob (operación 1)	Intervalos de números aleatorios	Frecuencias de tiempos de Ray (operación 2)	Intervalos de números aleatorios
10	4	00-03	4	00-07
20	6	04-09	5	08-17
30	10	10-19	6	18-29
40	20	20-39	7	30-43
50	40	40-79	10	44-63
60	11	80-90	8	64-79
70	5	91-95	6	80-91
80	4	96-99	4	92-99
	100		50	

La ilustración 19A.6 contiene los intervalos de números aleatorios asignados que corresponden a la misma razón que los datos reales observados. Por ejemplo, Bob tuvo 4 de 100 veces en 10 segundos. Por tanto, si usamos 100 números, asignaríamos cuatro de esos números como correspondientes a 10 segundos. Se pueden asignar cuatro números cualesquiera, como 42, 18, 12 y 93. Sin embargo, sería incómodo buscarlos, de modo que se asignan números consecutivos como 00, 01, 02 y 03.

En el caso de Ray hubo 50 observaciones. Hay dos formas de asignar los números aleatorios. Primero, con el uso de 50 números (por decir, del 00 al 49) y se ignoran los números mayores. Sin embargo, es un desperdicio porque se descartaría 50% de los números de la lista. Otra opción sería duplicar el número de frecuencia. Por ejemplo, en vez de asignar, por decir, los números 0 a 03 para que representen las 4 de 50 observaciones que tardaron 10 segundos, se asignarían del 00 al 07 para 8 de 100 observaciones, que es el doble del número observado pero con la misma frecuencia. De hecho, en este ejemplo y con la rapidez de las computadoras, el ahorro de tiempo con la duplicación es insignificante.

En la ilustración 19A.7 se presenta una simulación manual de 10 piezas procesadas por Bob y Ray. Los números aleatorios provienen del apéndice H, a partir de la primera columna de dos números y hacia abajo.

ILUSTRACIÓN 19A.7 Simulación de Bob y Ray: Línea de ensamble de dos etapas.

	Bob						Ray				
Número de pieza	Número aleatorio	Tiempo de inicio	Tiempo de desempeño	Tiempo final	Tiempo de espera	Espacio de almacenamiento	Número aleatorio	Tiempo de inicio	Tiempo de desempeño	Tiempo final	Tiempo de espera
1	56	00	50	50		0	83	50	70	120	50
2	55	50	50	100	20	0	47	120	50	170	
3	84	120	60	180		0	08	180	20	200	10
4	36	180	40	220		0	05	220	10	230	20
5	26	220	40	260		0	42	260	40	300	30
6	95	260	70	330		0	95	330	80	410	30
7	66	330	50	380	30	0	17	410	20	430	
8	03	410	10	420	10	0	21	430	30	460	
9	57	430	50	480		0	31	480	40	520	20
10	69	480	50	530		0	90	530	70	600	10
			470		60				430		170

Se supone que el tiempo empieza en 00 y se ejecuta en segundos continuos (sin molestarse en convertirlo en horas y minutos). El primer número aleatorio es 56 y corresponde a un tiempo de servicio de Bob de 50 segundos en la primera pieza. La pieza pasa a Ray, que empieza a los 50 segundos. Si se relaciona el siguiente número aleatorio, 83, ilustración 19A.6, se observa que Ray tarda 70 segundos en terminar la pieza. Mientras, Bob empieza la siguiente pieza en el tiempo 50 y tarda 50 segundos (número aleatorio de 55) para terminar en el tiempo 100. Pero Bob no puede empezar la tercera pieza hasta que Ray no saque la primera pieza en el tiempo 120. Por tanto, Bob tiene un tiempo de espera de 20 segundos (si hubiera espacio de almacenamiento entre Bob y Ray, esta pieza podría trasladarse a la estación de trabajo de Bob, que empezaría la siguiente pieza en el tiempo 100). El resto de la ilustración se calculó conforme al mismo patrón: obtener un número aleatorio, encontrar el tiempo de procesamiento correspondiente, observar el tiempo de espera (si lo hay) y calcular el tiempo final. Cabe observar que, como no hay espacio de almacenamiento entre Bob y Ray, hubo un tiempo de espera considerable entre ambos trabajadores.

Se pueden ya responder algunas preguntas y declarar algunas cosas acerca del sistema. Por ejemplo,

El tiempo de producción promedia 60 segundos por unidad (el tiempo completo de 600 para Ray dividido entre 10).

La utilización de Bob es 470/530 = 88.7%.

La utilización de Ray es 430/550 = 78.2% (sin tomar en cuenta la espera de arranque inicial de la primera pieza de 50 segundos).

El tiempo promedio de desempeño de Bob es 470/10 = 47 segundos.

El tiempo promedio de desempeño de Ray es 430/10 = 43 segundos.

Se demostró cómo se solucionaría este problema en una simulación manual simple. Una muestra de 10 en realidad es muy pequeña para que sea tan confiable, por lo que este problema se debe ejecutar en computadora con varios miles de iteraciones (en la siguiente sección del capítulo se abunda en este problema).

Asimismo, es vital estudiar el efecto del espacio de almacenamiento de piezas entre los trabajadores. El problema sería ejecutar la corrida para ver cuáles son los tiempos de producción total y de utilización de los trabajadores sin espacio de almacenamiento entre ellos. Una segunda ejecución debe aumentar este espacio de almacenamiento a una unidad, con los cambios correspondientes observados. Repetir las ejecuciones con dos, tres, cuatro, y así sucesivamente, brinda a la gerencia la oportunidad de calcular el costo adicional de espacio comparado con un mayor uso. Un mayor espacio así entre los trabajadores requiere instalaciones más amplias, más material y partes en el sistema, equipo de manejo de material y una máquina de transferencia, además de más calefacción, luz, mantenimiento de instalaciones, etcétera.

Lo anterior también serían datos útiles para que la gerencia vea los cambios que ocurrirían en el sistema si se automatizara el puesto de un trabajador. Se podría simular la línea de ensamble con datos del proceso automatizado para ver si un cambio así justificaría los costos.

Simulación en hoja de cálculo

Como ya se mencionó en este libro, las hojas de cálculo como Microsoft® Excel son muy útiles para diversos problemas. En la ilustración 19A.8 se muestra la línea de ensamble de dos etapas de Bob y Ray en una hoja de cálculo de Excel®. El procedimiento sigue el mismo patrón que la presentación manual de la ilustración 19A.7.

La simulación total en Excel® pasó 1 200 iteraciones (que se muestran en la ilustración 19A.9); es decir, Ray terminó 1 200 piezas. Como herramienta analítica, la simulación tiene una ventaja sobre los métodos cuantitativos en cuanto a que es dinámica, mientras los métodos analíticos muestran un desempeño promedio a la larga. Como se observa en la ilustración 19A.9*A*, hay una etapa de arranque inconfundible (o transitoria). Incluso pueden surgir preguntas acerca de la operación de largo plazo de la línea porque no parece tener un valor (estado) constante

ILUSTRACIÓN 19A.8 Línea de ensamble de dos etapas de Bob y Ray en Excel® de Microsoft.

	Bob					Ray							
Pieza	Números aleatorios	Tiempo de inicio	Tiempo de desempeño	Tiempo final	Tiempo de espera	Números aleatorios	Tiempo de inicio	Tiempo de desempeño	Tiempo final	Tiempo de espera	Tiempo promedio/ unidad	Tiempo total	Tiempo promedio en el sistema
1	93	0	70	70	0	0	70	10	80	70	80.0	80	80.0
2	52	70	50	120	0	44	120	50	170	40	85.0	100	90.0
3	15	120	30	150	20	72	170	60	230	0	76.7	110	96.7
4	64	170	50	220	10	35	230	40	270	0	67.5	100	97.5
5	86	230	60	290	0	2	290	10	300	20	60.0	70	92.0
6	20	290	40	330	0	82	330	70	400	30	66.7	110	95.0
7	83	330	60	390	10	31	400	40	440	0	62.9	110	97.1
8	89	400	60	460	0	13	460	20	480	20	60.0	80	95.0
9	69	460	50	510	0	53	510	50	560	30	62.2	100	95.6
10	41	510	50	560	0	48	560	50	610	0	61.0	100	96.0
11	32	560	40	600	10	13	610	20	630	0	57.3	70	93.6
12	1	610	10	620	10	67	630	60	690	0	57.5	80	92.5
13	11	630	30	660	30	91	690	70	760	0	58.5	130	95.4
14	2	690	10	700	60	76	760	60	820	0	58.6	130	97.9
15	11	760	30	790	30	41	820	40	860	0	57.3	100	98.0
16	55	820	50	870	0	34	870	40	910	10	56.9	90	97.5
17	18	870	30	900	10	28	910	30	940	0	55.3	70	95.9
18	39	910	40	950	0	53	950	50	1 000	10	55.6	90	95.6
19	13	950	30	980	20	41	1 000	40	1 040	0	54.7	90	95.3
20	7	1 000	20	1 020	20	21	1 040	30	1 070	0	53.5	70	94.0
21	29	1 040	40	1 080	0	54	1 080	50	1 130	10	53.8	90	93.8
22	58	1 080	50	1 130	0	39	1 130	40	1 170	0	53.2	90	93.6
23	95	1 130	70	1 200	0	70	1 200	60	1 260	30	54.8	130	95.2
24	27	1 200	40	1 240	20	60	1 260	50	1 310	0	54.6	110	95.8
25	59	1 260	50	1 310	0	93	1 310	80	1 390	0	55.6	130	97.2
26	85	1 310	60	1 370	20	51	1 390	50	1 440	0	55.4	130	98.5
27	12	1 390	30	1 420	20	35	1 440	40	1 480	0	54.8	90	98.1
28	34	1 440	40	1 480	0	51	1 480	50	1 530	0	54.6	90	97.9
29	60	1 480	50	1 530	0	87	1 530	70	1 600	0	55.2	120	98.6
30	97	1 530	80	1 610	0	29	1 610	30	1 640	10	54.7	110	99.0

establecido, ni siquiera después de 1 200 piezas. En la ilustración 19A.9*A* se muestran 100 piezas que pasan por el sistema de dos etapas de Bob y Ray. Se nota la amplia variación en tiempo de las primeras unidades terminadas. Estas cifras son el tiempo promedio que tardan las unidades. Se trata de un acumulado, es decir, la primera unidad tarda el tiempo generado por los números aleatorios. El tiempo promedio de las dos unidades es el tiempo promedio de la suma de la primera y segunda unidades. El tiempo promedio de tres unidades es el tiempo promedio de la suma de las primeras tres unidades, y así sucesivamente. Esta presentación puede tener casi cualquier forma inicial, no necesariamente la que se muestra. Todo depende del conjunto de números aleatorios. Lo que sí es seguro es que los tiempos oscilan hasta que se estabilizan conforme se terminan las unidades y se nivela el promedio.

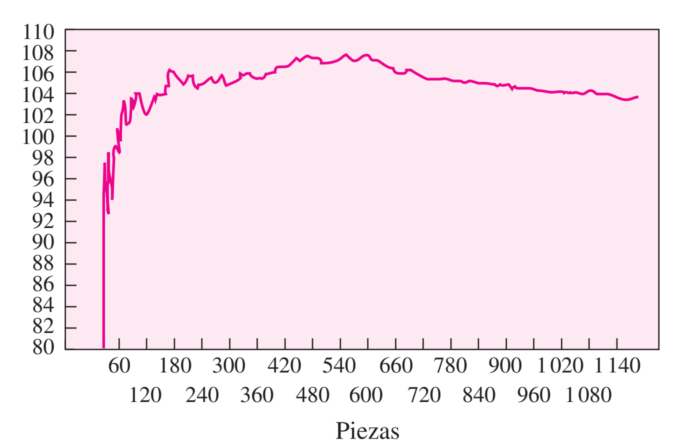
ILUSTRACIÓN 19A.9 Dos estaciones de trabajo en una línea de ensamble.

A. Tiempo promedio por unidad de producción (Tiempo final/número de unidades)

Segundos: 88, 84, 80, 76, 72, 68, 64, 60, 56, 52

Pieza: 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100

B. Tiempo promedio que pasa el producto en el sistema



C. Resultados de la simulación de 1 200 unidades procesadas por Bob y Ray

	Bob	Ray	Unidad
Utilización	0.81	0.85	
Tiempo promedio de espera	10.02	9.63	
Tiempo promedio de desempeño	46.48	46.88	
Tiempo promedio por unidad			57.65
Tiempo promedio en el sistema			103.38

Excel: Ensamble de dos etapas

En la ilustración 19A.9*B* aparece el tiempo promedio que pasan las partes en el sistema. Al principio se muestra un incremento de tiempo en el sistema. Es de esperar porque el sistema empezó vacío y no hay piezas que interrumpan el paso de Bob a Ray. Muchas veces, las piezas entran en el sistema y tienen que hacer fila entre etapas como trabajo en proceso, lo que provoca demoras a las piezas subsecuentes y se suma al tiempo de espera. Sin embargo, conforme pasa el tiempo debe haber una estabilidad, a menos que la capacidad de la segunda etapa sea inferior a la de la primera. En este caso no se permite un espacio entre ellas. Por tanto, si Bob termina primero, tiene que esperar a Ray y viceversa.

La ilustración 19A.9*C* contiene los resultados de la simulación de Bob y Ray al terminar 1 200 unidades del producto. Compare estas cifras con las obtenidas de la simulación manual de 10 piezas. No está mal, ¿verdad? El tiempo promedio de desempeño de Bob es de 46.48 segundos, cifra cercana al promedio ponderado de lo que se esperaría a la larga. En el caso de Bob es (10 × 4 + 20 × 6 + 30 × 10, etc.) 100 = 45.9 segundos. El tiempo esperado de Ray es (10 × 4 + 20 × 5 + 30 × 6, etc.) 50 = 46.4 segundos.

Excel: LineSim

La simulación de una línea de ensamble de dos etapas es un buen ejemplo de una hoja de cálculo con diseño especial para analizar este problema. Excel® tiene integrados más programas de simulación general. John McClain, profesor de gestión de operaciones en la Universidad Cornell, diseñó dos hojas de cálculo para simulación útiles para demostrar varios sistemas comunes. Dichas hojas de cálculo se incluyen en el sitio de internet de este libro.

Excel: CellSim

La primera hoja de cálculo, llamada "LineSim", está diseñada para el análisis de una línea de producción en serie simple, que es un sistema con una serie de máquinas. La producción de una máquina pasa a un área de almacenamiento, que es la entrada para la siguiente máquina. La hoja de cálculo se configura fácilmente en caso de diferentes máquinas, distintos volúmenes de almacén y numerosas distribuciones de tiempo de procesamiento. Además, se pueden modelar

descomposturas y reparaciones de las máquinas. La segunda hoja de cálculo, “CellSim”, es parecida, aunque permite ordenar las máquinas de una forma más general. Agradecemos al profesor McClain poner a nuestra disposición estas hojas de cálculo.

Programas y lenguajes de simulación

Los modelos de simulación se clasifican como *continuos* o *discretos*. Los modelos continuos se basan en ecuaciones matemáticas y por ende son continuos, con valores para todos los momentos. Por otra parte, la simulación discreta solo ocurre en puntos específicos. Por ejemplo, los clientes que llegan a una ventanilla en el banco sería una simulación discreta. La simulación salta de un punto a otro: la llegada de un cliente, el inicio de un servicio, el final del servicio, la llegada del siguiente cliente y así sucesivamente. La simulación discreta también se ejecuta con unidades de tiempo (a diario, por hora, minuto a minuto). Esta se denomina *simulación de eventos*; los puntos entre uno y otro no tienen valor en la simulación o no podemos calcularlos porque falta cierta relación matemática para unir los sucesos posteriores. Las aplicaciones de manejo de operaciones y suministros usan casi exclusivamente la simulación discreta (de sucesos).

Los programas de simulación también se clasifican por categorías de propósito general y de propósito especial. El software de propósito general permiten a los programadores diseñar sus propios modelos. Algunos ejemplos son SLAM II, SIMSCRIPT II.5, SIMAN, GPSS/H, GPSS/PC, PC-MODEL y RESQ. Los programas de software de simulación de propósito especial se diseñan para simular aplicaciones específicas, como Extend y SIMFACTORY. Por ejemplo, en una simulación especializada para manufactura, las provisiones de un modelo permiten especificar el número de centros de trabajo, su descripción, ritmos de llegada, tiempo de procesamiento, tamaños de lotes, cantidad de trabajo en proceso y recursos disponibles, como mano de obra, secuencias, etc. Además, el programa puede permitir al observador ver la operación animada así como las cantidades y flujos en el sistema conforme se ejecuta la simulación. Los datos se recopilan, analizan y presentan en la forma más conveniente para ese tipo de aplicación. El paquete de software llamado Extend se presenta en la sección Innovación “Software de animación y simulación”.

Servicio

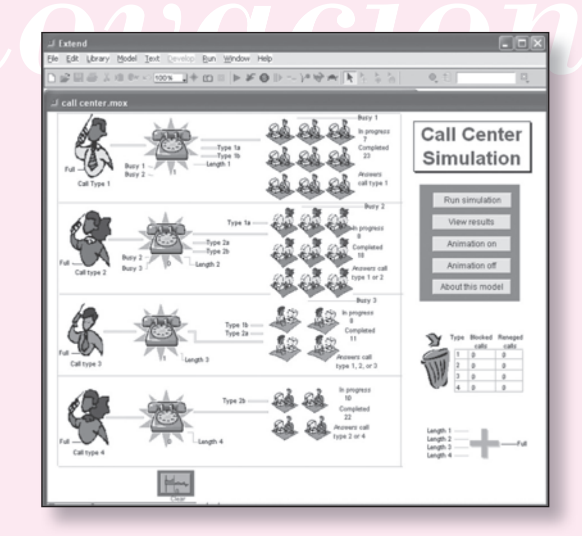
Hay muchos programas de software de simulación. ¿Cómo elegir un programa entre una larga lista? Lo primero es entender los diferentes tipos de simulación. Después hay que revisar los programas en el mercado y encontrar el que se adecue a las necesidades específicas (para

INNOVACIÓN

SOFTWARE DE ANIMACIÓN Y SIMULACIÓN

Los centros de llamadas son una buena aplicación de una simulación. Su modelado es fácil y se cuenta con información acerca del tiempo del servicio, ritmos de llegada, tiempos de incumplimiento y las rutas que toman las llamadas en el centro. En este centro de llamadas llegan cuatro tipos de llamadas en intervalos aleatorios y cuatro de representantes que pueden tomar las llamadas. Cada tipo de representante se especializa en un tipo de llamada en particular. Sin embargo, algunos representantes pueden tomar diferentes tipos de llamadas.

Este modelo se diseñó rápidamente con Extend, producto de la compañía Imagine That! El producto aprovecha extensamente la animación para que el usuario en realidad vea cómo opera el centro de llamadas. Para saber más sobre este producto visite http://www.imaginethatinc.com.



INNOVACIÓN

LAS SOLUCIONES A LA SOBREPOBLACIÓN HOSPITALARIA SE PUEDEN HALLAR MEDIANTE SIMULACIONES

En virtud de que una mejor atención médica generó una mayor esperanza de vida con cambios demográficos, los hospitales están superpoblados por doquier. Los presupuestos limitados para la atención médica obligan a que los hospitales exploren soluciones creativas. Pero estas pueden ser riesgosas, por lo que deben evaluarse con cuidado. Desde el punto de vista de costos, cuanto antes se evalúe una solución, y se acepte o rechace, mejor.

Mientras se escribían estas líneas, el laboratorio de pacientes externos del Bay Medical Center experimentaba graves limitaciones de capacidad. Aunado a sus dificultades, una remodelación diseñada para mejorar la eficiencia terminó por añadirse al problema de sobrepoblación. Dave Nall, ingeniero de administración del Bay Medical Center, llevó a cabo un estudio para evaluar varias opciones y hacer recomendaciones para reducir los cuellos de botella y mejorar el flujo de pacientes en el laboratorio de pacientes externos. El objetivo de este estudio era desarrollar y evaluar opciones para disminuir la sobrepoblación en el laboratorio de pacientes externos.

SOLUCIÓN

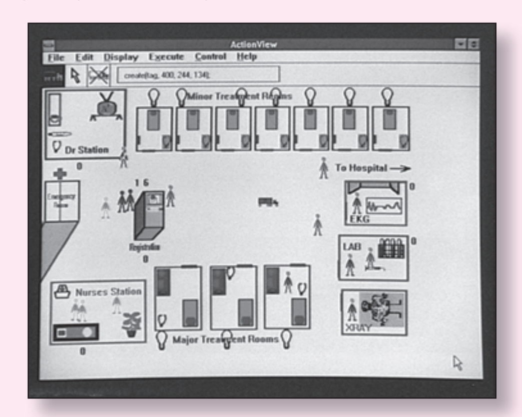
La principal tecnología que empleó Dave para realizar este análisis fue la simulación por computadora. Dave ya había usado muchas veces la simulación por computadora y le parecía una forma eficiente de entender el problema y evaluar las soluciones.

Luego de platicar con los gerentes responsables del laboratorio para pacientes externos, Dave creó una red en la que se describía el flujo de pacientes en el laboratorio configurado en ese momento. Después se recopilaron datos de las veces que los pacientes requerían varios servicios así como del traslado entre cuartos donde se proporcionaban. Con esta información, Dave creó una simulación por computadora de la configuración inicial del laboratorio.

Dave modificó después la simulación por computadora para estudiar los problemas relacionados con las tres categorías de soluciones de la sobrepoblación en el laboratorio para pacientes externos: 1) cambiar de personal, médico y administrativo inclusive, 2) usar otra clínica como laboratorio para el exceso de flujo y 3) rediseñar las instalaciones del laboratorio.

Servicio

Respecto del personal, la simulación por computadora verificó que la cantidad de personal médico de verdad fuese la óptima. Sin embargo, Dave encontró que había exceso de personal administrativo y que el recorte de este personal no afectaría la atención a los pacientes. Pero el problema principal no era el personal.



En cuanto a la opción de usar otro laboratorio para el exceso de flujo, había excelentes oportunidades de mejorar el rendimiento si se convencía a los pacientes de que usaran otro laboratorio. A pesar de que la simulación no indicaba a Dave cómo lograr que los pacientes acudieran a un laboratorio alterno, sí le permitió cuantificar los beneficios con la implantación de políticas que aprovecharan mejor el laboratorio alterno en 5, 10%, etc. Respecto del rediseño del laboratorio para pacientes externos actual, Dave determinó que el laboratorio sería mucho más productivo si se rediseñaban un poco las instalaciones y se cambiaban los procedimientos. Desde luego, una mayor productividad permitiría un mejor servicio a los pacientes.

BENEFICIOS

En lo individual, nadie podría saber con precisión el impacto de las diferentes formas de abordar la sobrepoblación del laboratorio para pacientes externos de Bay Medical Center. Con los resultados del análisis de simulación y de los comentarios, Dave pudo evaluar los beneficios relativos de cada opción y pronosticar su impacto. Con un poco de tiempo invertido por parte de Dave, Bay Medical Center pudo tomar decisiones informadas entendiendo los costos y beneficios. El resultado fue que se tomaron las decisiones correctas y los pacientes recibieron un mejor servicio.

Fuente: Micro Analysis and Design Micro Saint Simulation Software © 2004 Micro Analyses & Design. Reimpreso con autorización.

la aplicación óptima de un programa comercial, vea la sección Innovación "Las soluciones a la sobrepoblación hospitalaria se encuentran mediante simulaciones").

Como último comentario acerca de los programas de simulación, no se deben descartar las hojas de cálculo para simulación. En la sección anterior se simuló en una hoja de cálculo el desempeño de Bob y Ray. Las hojas de cálculo son cada vez más sencillas y tienen más caracte-

rísticas, lo que permite generar números aleatorios y plantear preguntas del tipo "qué pasa si…". La sencillez del manejo de una hoja de cálculo para simulación compensa reducir la complejidad del problema para este fin.

@RISK es un complemento que funciona con Microsoft Excel®. El programa incluye muchas funciones útiles para la hoja de cálculo relacionadas con la simulación. Con @RISK se automatiza el proceso de tomar valores aleatorios de una función de distribución específica, automatiza el recalculo de la hoja de cálculo con los nuevos valores aleatorios y captura los valores de salida y estadísticas. @RISK simplifica el proceso de diseñar y ejecutar simulaciones en hojas de cálculo.[2]

Características deseables del software de simulación

Hay que invertir tiempo para aprender el software de simulación. Una vez que se aprende un software específico, la tendencia es seguir con él mucho tiempo, por lo que se debe tener cuidado al elegirlo. El software de simulación debe:

1. Tener la capacidad de usarse en forma interactiva tanto como permitir corridas completas.
2. Ser fácil de usar y entender.
3. Permitir la elaboración y conexión de módulos. Así, los modelos se pueden trabajar por separado sin afectar el resto del sistema.
4. Permitir que los usuarios escriban e incorporen sus rutinas; ningún programa de simulación abarca todas las necesidades.
5. Tener bloques funcionales que contengan comandos integrados (como análisis estadístico o reglas de decisión para saber con qué continuar).
6. Tener capacidad de macros, como la capacidad de elaborar celdas de maquinado.
7. Tener capacidad de flujo de material. Las operaciones implican el movimiento de material y personas; el programa debe poder modelar camiones, grúas, bandas transportadoras, etcétera.
8. Generar estadísticas estándar de salida, como tiempos de ciclo, utilizaciones y tiempos de espera.
9. Permitir varias opciones para analizar datos de entrada y salida.
10. Tener capacidad de animación para presentar gráficamente el flujo del producto a través del sistema.
11. Permitir la depuración interactiva del modelo para que el usuario pueda rastrear los flujos a través del modelo y encontrar errores más fácilmente.[3]

Ventajas y desventajas de la simulación

La siguiente no pretende ser una lista completa de por qué una persona debe elegir o no la simulación como técnica. En cambio, establece algunas ventajas y desventajas generalmente aceptadas.

Ventajas

1. Desarrollar el modelo de un sistema con frecuencia permite comprender mejor el sistema real.
2. En la simulación, el tiempo se abrevia; años de funcionamiento del sistema real se comprimen en segundos o minutos.
3. La simulación no interrumpe actividades continuas del sistema real.
4. La simulación es mucho más general que los modelos matemáticos y se puede usar en condiciones inadecuadas para el análisis matemático estándar.

[2] Vea W. L. Winston, *Simulation Modeling Using @RISK,* Belmont, California, Wadsworth, 2000. @RISK es un producto de Palisade Corporation, http://www.palisade.com

[3] S. W. Haider y J. Banks, "Simulation Software Products for Analyzing Manufacturing Systems", *Industrial Engineering* 18, núm. 7, julio de 1986, pp. 98-103.

5. La simulación se puede usar como un juego con fines de capacitación.
6. La simulación ofrece una réplica más real de un sistema que el análisis matemático.
7. La simulación es aplicable para analizar condiciones temporales, y, por lo general, las técnicas matemáticas no.
8. Comercialmente, hay muchos modelos estándar en paquete que abarcan una amplia variedad de temas.
9. La simulación responde a preguntas del tipo "qué pasa si...".

DESVENTAJAS

1. Aunque se dedique mucho tiempo y esfuerzo a la elaboración de un modelo para simulación, no hay garantía de que el en realidad genere las respuestas correctas.
2. No hay forma de comprobar que el desempeño del modelo de simulación es totalmente confiable. La simulación implica muchas repeticiones de secuencias que se basan en hechos generados al azar. Aunque es poco probable, un sistema aparentemente estable puede explotar con la combinación correcta de sucesos.
3. Según el sistema que se va a simular, la elaboración de un modelo de simulación tarda de una hora a 100 años-hombre. Los sistemas complicados pueden ser muy costosos y tardar mucho tiempo.
4. La simulación puede ser menos precisa que el análisis matemático porque se basa en eventos al azar. Si un sistema determinado se representa con un modelo matemático, quizá sea mejor que la simulación.
5. Tal vez se necesite mucho tiempo significativo de computadora para ejecutar modelos complejos.
6. Aunque avanza, la técnica de simulación aún carece de un método estandarizado. Por consiguiente, los modelos del mismo sistema creados por diferentes personas pueden ser muy distintos.

Resumen

Podría decirse que cualquier cosa que se pueda hacer matemáticamente se puede realizar con la simulación. Sin embargo, la simulación no siempre es la mejor opción. Cuando el análisis matemático es adecuado para un problema específico, por lo común es más rápido y menos costoso. Normalmente también es comprobable en cuanto a la técnica se refiere, y la única pregunta real es si el sistema está bien representado en el modelo matemático.

Sin embargo, la simulación no tiene nada fijo; no hay límites para elaborar un modelo o hacer suposiciones acerca del sistema. El aumento de la potencia y memoria de la computadora ha extendido lo que puede simularse. Además, la continua creación de lenguajes y programas de simulación, programas tanto de propósito general (SIMAN, SLAM) como de propósito especial (Extend, Process Model, SIMFACTORY, Optima!), simplifica el proceso de creación de modelos de simulación.

Conceptos clave

Parámetros Propiedades fijas de un modelo de simulación.

Variables Propiedades de un modelo de simulación que pueden variar durante la ejecución de simulación. Los resultados de la simulación se analizan a través de estas variables.

Reglas de decisión Lógica que controla el comportamiento de una simulación.

Distribuciones Distribuciones de probabilidad para modelar los eventos aleatorios en una simulación.

Incremento de tiempo Proceso de moverse en el tiempo en una simulación.

Duración (tiempo) de la ejecución Duración de una simulación en un tiempo o número de eventos simulados.

Problemas resueltos

Problema resuelto 1

Para usar un antiguo ejemplo estadístico de simulación, si una urna contiene 100 pelotas, 10% de las cuales son verdes, 40% rojas y 50% con manchas, elabore un modelo de simulación del proceso de sacar al azar pelotas de la urna. Cada vez que se extrae una pelota y se anota su color, la devolvemos a la urna. Use los siguientes números aleatorios como desee.

Simule sacar 10 pelotas de la urna. Muestre los números que usó.

26768	66954	83125	08021
42613	17457	55503	36458
95457	03704	47019	05752
95276	56970	84828	05752

Solución

Asigne números aleatorios a las pelotas a fin de que correspondan al porcentaje en la urna.

	Número aleatorio
10 pelotas verdes	00-09
40 pelotas rojas	10-49
50 pelotas con manchas	50-99

Hay muchas respuestas posibles, según cómo se asignaron los números aleatorios y los números usados de la lista proporcionada en el problema.

En el caso de la secuencia de números aleatorios anteriores y el uso de los dos primeros números proporcionados, se obtiene

NA	Color	NA	Color
26	Rojo	17	Rojo
42	Rojo	3	Verde
95	Con manchas	56	Con manchas
95	Con manchas	83	Con manchas
66	Con manchas	55	Con manchas

De las 10 pelotas había 1 verde, 3 rojas y 6 con manchas, un buen cálculo basado en una muestra de 10 solamente.

Problema resuelto 2

Una clínica rural recibe del banco de sangre central una entrega de plasma fresca una vez a la semana. El suministro varía conforme a la demanda de otras clínicas y hospitales de la región, aunque también varía de cuatro a nueve pintas del tipo de sangre más común, O. El número de pacientes que requiere sangre a la semana varía de cero a cuatro, y cada paciente puede llegar a necesitar de uno a cuatro pintas. Con las siguientes cantidades de entrega, distribución de pacientes y demanda por paciente, ¿cuál sería el número de litros de sobrantes o faltantes para un periodo de seis semanas? Obtenga su respuesta mediante simulación. Tome en cuenta que el plasma se almacena y que a la fecha no hay nada disponible.

Cantidades suministradas		Distribución de pacientes		Demanda por paciente	
Pintas por semana	Probabilidad	Pacientes por semana que necesitan sangre	Probabilidad	Pintas	Probabilidad
4	0.15	0	0.25	1	0.40
5	0.20	1	0.25	2	0.30
6	0.25	2	0.30	3	0.20
7	0.15	3	0.15	4	0.10
8	0.15	4	0.05		
9	0.10				

Solución

Primero, elabore una secuencia de números aleatorios; luego, simule.

Entrega			Número de pacientes			Demanda de pacientes		
Pintas	Probabilidad	Número aleatorio	Sangre	Probabilidad	Número aleatorio	Pintas	Probabilidad	Número aleatorio
4	.15	00-14	0	.25	00-24	1	.40	00-39
5	.20	15-34	1	.25	25-49	2	.30	40-69
6	.25	35-59	2	.30	50-79	3	.20	70-89
7	.15	60-74	3	.15	80-94	4	.10	90-99
8	.15	75-89	4	.05	95-99			
9	.10	90-99						

Número de semana	Inventario inicial	Cantidad entregada		Sangre disponible total	Pacientes que necesitan sangre		Paciente	Cantidad necesitada		Número de pintas restantes
		NA	Pintas		NA	Pacientes		NA	Pintas	
1	0	74	7	7	85	3	Primero	21	1	6
							Segundo	06	1	5
							Tercero	71	3	2
2	2	31	5	7	28	1		96	4	3
3	3	02	4	7	72	2	Primero	12	1	6
							Segundo	67	2	4
4	4	53	6	10	44	1		23	1	9
5	9	16	5	14	16	0				14
6	14	40	6	20	83	3	Primero	65	2	18
							Segundo	34	1	17
							Tercero	82	3	14
7	14									

Al final de las seis semanas, hay 14 pintas.

Preguntas de repaso y análisis

1. ¿Por qué a veces se le llama a la simulación una técnica de último recurso?
2. ¿Qué papeles cumplen las pruebas de hipótesis estadística en la simulación?
3. ¿Qué determina la validez de un modelo de simulación?
4. ¿Se debe usar una computadora para obtener información adecuada de una simulación? Explique.
5. ¿Con qué métodos se incrementa el tiempo en un modelo de simulación? ¿Cómo funcionan?
6. ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de empezar una simulación con el sistema vacío? ¿Y con el sistema en equilibrio?
7. Distinga entre las distribuciones matemáticas conocidas y las distribuciones empíricas. ¿Qué información se necesita para una simulación con una distribución matemática conocida?
8. ¿Por qué es importante en la simulación la duración de la ejecución? ¿Una ejecución de 100 observaciones es dos veces más válida que una de 50? Explique.

Problemas

1. SIMULACIÓN EN EL AULA: FISH FORWARDERS
   Es un ejercicio competitivo diseñado para poner a prueba las habilidades de los jugadores para establecer reglas de pedido de inventario durante una planificación de 10 semanas. Al final, la ganancia máxima determina al ganador.

   Fish Forwarders provee camarón fresco a varios clientes del área de Nueva Orleáns. A principios de cada semana, pide cajas de camarón a representantes de la flota para cubrir la demanda de sus clientes a mediados de semana. Fish Forwarders recibe el camarón y, a finales de semana, llega a los clientes.

   La oferta y demanda de camarón son inciertas. La oferta puede variar hasta ±10% de la cantidad pedida y, por contrato, Fish Forwarders debe comprar esta oferta. La probabilidad asociada a esta variación es de −10%, 30% del tiempo; 0%, 50% del tiempo, y +10%, 20% del tiempo. La demanda

ILUSTRACIÓN 19A.10 Hoja de cálculo de simulación.

(1)	(2)	(3)		(4)		(5)	(6)	(7)	(8)		(9)
Semana	Inventario congelado	Pedidos hechos		Pedidos recibidos		Disponible (normal y congelado)	Demanda (800 + 100Z)	Ventas (mínimo de demanda o disponible)	Excedente		Faltantes
		Normal	Congelado	Normal	Congelado				Normal	Congelado	
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7		CARNAVAL				*					
8											
9											
10											
Total											

*Sólo congelado.

semanal de camarón tiene una distribución normal con una media de 800 cajas y una desviación estándar de 100 cajas.

Una caja de camarón le cuesta a Fish Forwarders 30 dólares y la vende a 50 dólares. El camarón que no se venda al final de la semana se revende a una compañía de alimento para gato a 4 dólares la caja. Fish Forwarders, si así lo decidiere, puede pedir al proveedor del muelle que congele el camarón pero incrementa el costo 4 dólares por caja y, por ende, a Fish Forwarders le cuesta 34 dólares la caja.

Procedimiento del juego. El juego requiere que cada semana se decida cuántas cajas pedir de camarón normal y camarón congelado. El número pedido puede ser cualquier cantidad. El instructor juega de árbitro y proporciona los números aleatorios. Los pasos del juego son:

a) Decida la cantidad del pedido de camarón normal o de camarón congelado e introduzca las cifras en la columna 3 de la hoja de cálculo (vea la ilustración 19A.10). Suponga que no hay inventario de apertura de camarón congelado.

b) Determine la cantidad que llega e introdúzcala en "Pedidos recibidos". Para lograrlo, el árbitro anota un número aleatorio de una tabla de números aleatorios uniformes (como en el apéndice H) y encuentra su nivel asociado de variación de los siguientes intervalos de números aleatorios: 00 a 29 = −10%, 30 a 79 = 0% y 80 a 99 = +10%. Si el número aleatorio es, por decir, 13, la cantidad de variación será −10%. Así, si decide pedir 1 000 cajas normales de camarón y 100 cajas de camarón congelado, la cantidad que realmente recibiría será 1 000 − 0.10(1 000), o 900 cajas normales, y 100 − 0.10(100), o 90 cajas de camarón congelado (observe que la variación es la misma para el camarón normal y el congelado). Estas cantidades se introducen en la columna 4.

c) Agregue la cantidad de camarón congelado al inventario (si lo hay) a la cantidad de camarón normal y congelado que acaba de recibir e introduzca esta cantidad en la columna 5. Con las cifras proporcionadas antes, la cantidad sería 990.

d) Determine la demanda de camarón. Para lograrlo, el árbitro elige un valor aleatorio con desviación normal de la ilustración 19A.3 o apéndice H y lo incluye en la ecuación al principio de la columna 6. Así, si el valor desviado es −1.76, la demanda de la semana es 800 + 100 (−1.76), o 624.

e) Determine la cantidad vendida, que sería la menor de la cantidad demandada (columna 6) y la cantidad disponible (columna 5). Por consiguiente, si un jugador recibió 990 y la demanda es 624, la cantidad que se introduce es 624 (con 990 − 624, o un restante de 366).

f) Determine el exceso, que tan solo es la cantidad restante después de cubrir la demanda de una semana determinada. Siempre suponga que el camarón normal se vende antes que el congelado.

ILUSTRACIÓN 19A.11
Ganancia de las operaciones de Fish Forwarders.

Ingresos de las ventas ($50 × col. 7)	$ _________	
Ingresos de valor residual ($4 × col. 8 normal)	$ _________	
Ingresos totales		$ _________
Costo de compra de normal ($30 × col. 4 normal)	$ _________	
Costo de compra de congelado ($34 × col. 4 congelado)	$ _________	
Costo de guardar camarón congelado ($2 × col. 8 congelado)	$ _________	
Costo de faltantes ($20 × col. 9)	$ _________	
Costo total		$ _________
Ganancia		$ _________

Así, si se usa la cifra de 366 obtenida en *e,* el exceso incluiría las 90 cajas originales de camarón congelado.

g) Determine el faltante, que tan solo es la cantidad de demanda no cubierta cada periodo y solo ocurre cuando la demanda es mayor que las ventas (como los clientes consumen el camarón en la semana que se entrega, los pedidos pendientes no tienen importancia). La cantidad de faltante (en cajas de camarón) se introduce en la columna 9.

Determinación de ganancias. Se presenta la ilustración 19A.11 para determinar la ganancia obtenida al final del juego. Los valores que se introducen en la tabla se obtienen de la suma de las columnas relevantes de la ilustración 19A.10 y haciendo los cálculos.

Tarea. Simule las operaciones para un total de 10 semanas. Se sugiere que, al final de la semana 5, se tome un descanso de 10 minutos para que los jugadores evalúen cómo mejorar su desempeño. Si lo desean, también pueden planificar una estrategia de pedidos para la semana de carnaval, durante la que no se proveerá camarón.

2. El gerente de una oficina de correos pequeña está preocupado de que el crecimiento del poblado supere el servicio de ventanilla única que se ofrece. Se recopilaron datos de muestra de 100 individuos que llegaron a solicitar servicio:

Tiempo entre llegadas (minutos)	Frecuencia
1	8
2	35
3	34
4	17
5	6
	100

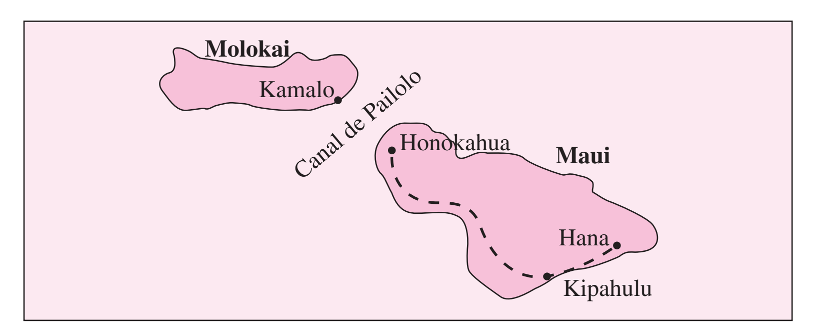
Tiempo de servicio (minutos)	Frecuencia
1.0	12
1.5	21
2.0	36
2.5	19
3.0	7
3.5	5
	100

Con la siguiente secuencia de números aleatorios, simule seis llegadas; calcule el tiempo de espera promedio de los clientes y el tiempo perdido promedio de los empleados.

NA: 08, 74, 24, 34, 45, 86, 31, 32, 45, 21, 10, 67, 60, 17, 60, 87, 74, 96

3. Thomas Magnus, investigador privado, recibió la llamada de un cliente potencial en Kamalo, Molokai. La llamada llegó justo a tiempo porque a Magnus le quedan nada más 10 dólares. Sin embargo, el empleo está condicionado a que Magnus se reúna con el cliente en Kamalo en 8 horas. Magnus, que ahora se encuentra en la residencia del Maestro en Kipahulu, Maui, tiene tres opciones para llegar a Kamalo. Magnus puede

a) Manejar al poblado nativo de Honokahua y tomar una canoa hawaiana a Kamalo.
b) Manejar a Honokahua y nadar 10 millas por el Canal de Pailolo hasta Kamalo.
c) Manejar a Hana y pedir a su amigo T. C. que lo lleve en helicóptero a Kamalo.



Si se elige la opción *a*, el tiempo de manejo a Honokahua se presenta en la distribución 1. Una vez en Honokahua, Magnus debe negociar con los amigables nativos tai. Las negociaciones siempre incluyen algunos cocteles, así que si Magnus empieza a negociar, va a ser imposible que nade. Las negociaciones se centran en cuánto cobrará cada uno de los tres miembros de la tripulación de la canoa. El tiempo de negociación, el pago a la tripulación y el tiempo de viaje en la canoa se presentan en las distribuciones 3, 4 y 5, respectivamente. Puede suponer que cada miembro de la tripulación cobra la misma cantidad. Si el total del pago de la tripulación es superior a 10 dólares, Magnus estará en problemas y el tiempo de viaje podría ser infinito.

Si elige la opción *b*, el tiempo de manejo a Honokahua y el tiempo de nado se presentan en las distribuciones 1 y 6.

Si se elige la opción *c,* el tiempo de manejo a Hana se presenta en la distribución 2. Pero T. C. solo está 10% del tiempo en el aeropuerto. Si T. C. no está en el aeropuerto, Magnus tendrá que esperar a que llegue. El tiempo de espera de Magnus se presenta en la distribución 8. Es probable que T. C. se niegue a llevar a Magnus por los 10 dólares que tiene; Magnus plantea que la probabilidad de que T. C. se niegue a llevarlo por 10 dólares es de 30%. Puede suponer que el tiempo de negociación es cero. Si T. C. se niega, Magnus tendrá que manejar a Honokahua vía Kipahulu y nadar hasta Kamalo. El tiempo de vuelo en helicóptero se presenta en la distribución 7.

Simule *dos veces* cada uno de los tres planes de transporte alterno y, basado en los resultados de su simulación, calcule el tiempo promedio de viaje de cada plan. Use los siguientes números aleatorios en el orden que aparecen; no se salte ningún número aleatorio.

NA: 7, 3, 0, 4, 0, 5, 3, 5, 6, 1, 6, 6, 4, 8, 4, 9, 0, 7, 7, 1, 7, 0, 6, 8, 8, 7, 9, 0, 1, 2, 9, 7, 3, 2, 3, 8, 6, 0, 6, 0, 5, 9, 7, 9, 6, 4, 7, 2, 8, 7, 8, 1, 7, 0, 5

Distribución 1: Tiempo de manejo de Kipahulu a Honokahua (horas)

Tiempo	Probabilidad	NA
1	.2	0-1
1.5	.6	2-7
2	.2	8-9

Distribución 2: Tiempo de manejo de Kipahulu a Hana y viceversa (horas)

Tiempo	Probabilidad	NA
.5	.2	0-1
1	.7	2-8
1.5	.1	9

Distribución 3: Tiempo de negociación (horas)

Tiempo	Probabilidad	NA
1	.2	0-1
1.5	.3	2-4
2	.3	5-7
2.5	.2	8-9

Distribución 4: Pago de canoa por miembro de la tripulación

Tiempo	Probabilidad	NA
$2	.3	0-2
3	.3	3-5
4	.4	6-9

Distribución 5: Tiempo de viaje en canoa de Honokahua a Kamalo (horas)

Tiempo	Probabilidad	NA
3	.1	0
4	.5	1-5
5	.4	6-9

Distribución 6: Tiempo de nado de Honokahua a Kamalo (horas)

Tiempo	Probabilidad	NA
5	.2	0-1
6	.6	2-7
7	.2	8-9

Distribución 7: Tiempo de vuelo de Hana a Kamalo (horas)

Tiempo	Probabilidad	NA
1	.1	0
1.5	.7	1-7
2	.2	8-9

Distribución 8: Tiempo de espera de Magnus en el aeropuerto (horas)

Tiempo	Probabilidad	NA
1	.1	0
2	.2	1-2
3	.3	3-6
4	.4	7-9

4. Se descompone un banco de máquinas en un taller de manufactura de acuerdo con la siguiente distribución de tiempo entre llegadas. El tiempo que tarda una persona en reparar la máquina aparece en la distribución de tiempo de servicio:

Tiempo entre llegadas (horas)	*P(X)*	NA
.5	.30	0-29
1.0	.22	30-51
1.5	.16	52-67
2.0	.10	68-77
3.0	.14	78-91
4.0	.08	92-99
	1.00	

Tiempo de servicio (horas)	*P(X)*	NA
.5	.25	0-24
1.0	.20	25-44
2.0	.25	45-69
3.0	.15	70-84
4.0	.10	85-94
5.0	.05	95-99
	1.00	

Simule la descompostura de cinco máquinas. Calcule el tiempo muerto promedio de las máquinas con dos personas que las reparen y la siguiente secuencia de números aleatorios (las dos personas que realizan la reparación no pueden trabajar en la misma máquina).

NA: 30, 81, 02, 91, 51, 08, 28, 44, 86, 84, 29, 08, 37, 34, 99

5. Jennifer Jones es dueña de una pequeña dulcería que atiende. Se realizó un estudio en el que se observa el tiempo entre los clientes que entran en la tienda y el tiempo que Jones tarda en atenderlos. Los datos a continuación se recopilaron de 100 clientes observados:

Tiempo entre llegadas (minutos)	Número de observaciones
1	5
2	10
3	10
4	15
5	15
6	20
7	10
8	8
9	5
10	2

Tiempo de servicio (minutos)	Número de observaciones
1	10
2	15
3	15
4	20
5	15
6	10
7	8
8	4
9	2
10	1

Simule el sistema (todas las llegadas y servicios) hasta que 10 clientes pasen el sistema y se les atienda.

¿Cuánto tiempo pasa un cliente en promedio en el sistema? Obtenga los números aleatorios del apéndice H.

6. Un entrenador de fútbol americano profesional tiene a seis corredores en su equipo. Quiere evaluar la forma en que las lesiones afectarían a su grupo de corredores. Una lesión menor ocasiona que un jugador salga del partido y no participe únicamente en el siguiente. Una lesión grave deja al jugador fuera por el resto de la temporada. La probabilidad de una lesión grave en un partido es de 0.05.

Cuando mucho, hay una lesión grave por partido. La distribución de probabilidad de lesiones menores por partido es

Número de lesiones	**Probabilidad**
0	.2
1	.5
2	.22
3	.05
4	.025
5	.005
	1.000

Las lesiones parecen ocurrir de manera totalmente aleatoria, sin un patrón perceptible en la temporada, que es de 10 partidos.

Con los siguientes números aleatorios, simule las fluctuaciones del grupo de corredores del entrenador en la temporada. Suponga que no contrata a más corredores en la temporada.

NA: 044, 392, 898, 615, 986, 959, 558, 353, 577, 866, 305, 813, 024, 189, 878, 023, 285, 442, 862, 848, 060, 131, 963, 874, 805, 105, 452

7. En Tucson Mills, las máquinas con frecuencia sufren descomposturas menores. Las descomposturas y el tiempo de servicio para reparar las máquinas se distribuyeron al azar. A la gerencia le interesa reducir el costo de las descomposturas. El costo por hora por máquina apagada es de 40 dólares. El costo del personal que la repara es de 12 dólares la hora. Un estudio preliminar arrojó los siguientes datos en tiempos entre descomposturas y tiempo de servicio:

Frecuencia relativa de descomposturas

Tiempo entre descomposturas (en minutos)	4	5	6	7	8	9
Frecuencia relativa	.10	.30	.25	.20	.10	.05

Frecuencia relativa de tiempos de servicio

Tiempo de servicio (en minutos)	4	5	6	7	8	9
Frecuencia relativa	.10	.40	.20	.15	.10	.05

Simule 30 descomposturas en dos condiciones: con una persona de reparaciones y con dos personas de reparaciones.

Con la siguiente secuencia de números aleatorios determine el tiempo entre descomposturas:

NA: 85, 16, 65, 76, 93, 99, 65, 70, 58, 44, 02, 85, 01, 97, 63, 52, 53, 11, 62, 28, 84, 82, 27, 20, 39, 70, 26, 21, 41, 81

Con la siguiente secuencia de números aleatorios determine los tiempos de servicio:

NA: 68, 26, 85, 11, 16, 26, 95, 67, 97, 73, 75, 64, 26, 45, 01, 87, 20, 01, 19, 36, 69, 89, 81, 81, 02, 05, 10, 51, 24, 36

a) Con los resultados de las simulaciones, calcule
   1) El tiempo total de inactividad de las personas de reparaciones según cada condición.
   2) La demora total provocada por esperar a que una persona de reparaciones empiece a trabajar en la descompostura.

b) Determine el planteamiento de costo más bajo.

8. La gasolinera Jethro tiene una bomba despachadora. Como todos en el condado Kornfield manejan coches grandes, la estación solo tiene espacio para tres autos, inclusive el que está en la bomba despachadora. Los coches que llegan cuando ya hay tres en la gasolinera se van a otra. Con las siguientes distribuciones de probabilidad, simule la llegada de cuatro autos a la gasolinera Jethro:

Tiempo entre llegadas (horas)	***P(X)***	**NA**
10	.40	0-39
20	.35	40-74
30	.20	75-94
40	.05	95-99

Tiempo de servicio (horas)	***P(X)***	**NA**
5	.45	0-44
10	.30	45-74
15	.20	75-94
20	.05	95-99

Use la siguiente secuencia de números aleatorios:

NA: 99, 00, 73, 09, 38, 53, 72, 91

¿Cuántos autos se van a otra gasolinera? ¿Cuál es el tiempo promedio que pasa un coche en la gasolinera?

9. Lo contrataron como asesor de una cadena de supermercados para responder a una pregunta básica: ¿Cuántas piezas por cliente se deben permitir en la caja rápida? No es una pregunta trivial para la gerencia de la cadena; los resultados serán la base de una política corporativa para las 2 000 tiendas. El vicepresidente de operaciones le dio un mes para efectuar el estudio y dos asistentes para que le ayuden a recopilar los datos.

Al empezar el estudio, decide evitar la teoría de filas como herramienta de análisis (porque le preocupa la confiabilidad de las suposiciones) y opta por la simulación. Con los siguientes datos, explique en detalle cómo haría su análisis y establezca 1) los criterios en que basaría sus recomendaciones, 2) qué datos adicionales necesitaría para configurar su simulación, 3) cómo recopilaría los datos preliminares, 4) cómo configuraría el problema de la simulación y 5) qué factores influirían en la aplicación de sus resultados en todas las tiendas.

Ubicación de tiendas	Estados Unidos y Canadá
Horas de operación	16 por día
Tamaño promedio de la tienda	9 cajas, incluso rápidas
Disponibilidad de cajeros	De 7 a 10 (algunos se dedican a actividades de inventario cuando no están en cajas)

10. Continúa la saga de Joe, del capítulo 19 (problema 12, página 644). Joe tiene la oportunidad de hacer un trabajo de reparación importante en un club de motocicletas local (accidentalmente, un camión de basura pasó por encima de sus motocicletas). El pago por el trabajo es bueno, pero es vital que el tiempo total de reparación de las cinco motocicletas sea menor que 40 horas (el líder del club dijo que le mortificaría mucho que no estuvieran a tiempo para el rally planificado). Por experiencia, Joe sabe que este tipo de reparaciones muchas veces implican viajes entre procesos para una motocicleta determinada, por lo que es difícil dar un cálculo de tiempo. Aun así, Joe tiene los datos históricos siguientes sobre la probabilidad de empezar un trabajo en cada proceso, el tiempo de procesamiento en cada proceso y las probabilidades de transición entre cada par de procesos:

Proceso	Probabilidad de iniciar trabajo en proceso	Probabilidad de tiempo de procesamiento (horas)			Probabilidad de ir a otro proceso o terminar (salir)			
		1	2	3	Cuadro	Trabajo en motor	Pintura	Salida
Reparación del cuadro	0.5	0.2	0.4	0.4	–	0.4	0.4	0.2
Trabajo en motor	0.3	0.6	0.1	0.3	0.3	–	0.4	0.3
Pintura	0.2	0.3	0.3	0.4	0.1	0.1	–	0.8

Con esta información, use la simulación para determinar los tiempos de reparación de cada moto. Muestre los resultados en una gráfica de Gantt que cuente con un programa PEPS (suponga que solo se puede trabajar en un ciclo a la vez en cada proceso). A partir de su simulación, ¿qué recomienda a Joe que haga a continuación?

11. En "Eat at Helen's" decidieron incluir una ventanilla en el restaurante para servicio en el automóvil. Como el capital es limitado, solo hay espacio suficiente para dos automóviles en el carril de la ventanilla para atención en el auto (uno al que se atiende y otro que espera). A Helen le gustaría saber cuántos clientes pasan de largo por su restaurante debido al espacio limitado en el carril de la ventanilla de atención en el auto. Simule 10 autos que intentan usar la ventanilla de atención en el auto con las distribuciones y números aleatorios siguientes:

Tiempo entre llegadas (minutos)	Probabilidad
1	0.40
2	0.30
3	0.15
4	0.15

Tiempo de servicio (minutos)	Probabilidad
1	0.20
2	0.40
3	0.40

Use los siguientes números aleatorios de dos dígitos para este problema:

Llegadas: 37, 60, 79, 21, 85, 71, 48, 39, 31, 35
Servicio: 66, 74, 90, 95, 29, 72, 17, 55, 15, 36

12. Jane's Auto World tiene la política de hacer un pedido por 27 unidades del modelo más popular cuando el inventario llega a 20. El margen del tiempo de entrega es de dos semanas y actualmente tienen 25 automóviles. Simule el equivalente a 15 semanas de ventas con las siguientes probabilidades provenientes de la información histórica:

Ventas por semana	Probabilidad	Ventas por semana	Probabilidad
5	.05	10	.20
6	.05	11	.20
7	.10	12	.10
8	.10	13	.05
9	.10	14	.05

Use los siguientes números aleatorios para las ventas: 23, 59, 82, 83, 61, 00, 48, 33, 06, 32, 82, 51, 54, 66, 55.

¿Esta política parece adecuada? Explique.

13. La vendedora de un periódico local vende a 50 centavos de dólar cada periódico, que a ella le cuesta 40 centavos, y obtiene una ganancia de 10 centavos por cada periódico vendido. Por experiencia, sabe que

20% del tiempo vende 100 periódicos
20% del tiempo vende 150 periódicos
30% del tiempo vende 200 periódicos
30% del tiempo vende 250 periódicos

Si se supone que ella considera que el costo de una venta perdida es de 5 centavos de dólar y el costo por los periódicos que no vende es de 25 centavos de dólar, simule su pronóstico de ganancias de 5 días si pide 200 periódicos cada uno de los 5 días. Use los siguientes números aleatorios: 51, 07, 55, 87, 53.

14. La demanda diaria de bebida energizante de una máquina expendedora determinada es 20, 21, 22 o 23 con probabilidades 0.4, 0.3, 0.2 o 0.1, respectivamente. Suponga que se generaron los siguientes números aleatorios: 08, 54, 74, 66, 52, 58, 03, 22, 89 y 85. Con estos números, genere la venta diaria de bebidas durante 10 días.

CASO AVANZADO: ENTENDER EL EFECTO DE LA VARIABILIDAD EN LA CAPACIDAD DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN

Excel: LineSim

Este ejercicio, en el que se aplica LineSim, es una oportunidad para estudiar el efecto de la variabilidad del tiempo de procesamiento en la capacidad de un sistema de producción en serie simple. Se pueden estudiar sistemas mucho más complejos, pero se espera que con este sistema simple se entienda cómo aplicar sistemas más complejos.

El sistema que se estudia es semejante a la línea de ensamble de dos etapas analizado en el capítulo; en este caso se trata de una línea de ensamble de tres etapas. En la práctica, las líneas de ensamble tienen más estaciones de trabajo, pero terminar un ejercicio con más estaciones de trabajo implica más tiempo. Si considera que sus resultados no pueden generalizarse a un sistema más grande, amplíe su estudio.

Para este caso se aplica el Serial Line Simulator (LineSim) que se incluye en el sitio de internet de este libro. Esta hoja de cálculo de Microsoft Excel® simula una línea de producción en serie simple. Estamos en deuda con John McClain, en la Johnson Graduate School of Management, Cornell University, por permitirnos usar su innovadora hoja de cálculo.

OBJETIVO DEL EJERCICIO

El objetivo es aprender de primera mano el efecto de la variabilidad del desempeño en sistemas de producción de múltiples etapas. Un planteamiento común es reducir el efecto de la variabilidad mediante algún mecanismo de amortiguamiento. Específicamente, en este sistema lo que varía es el tiempo que se requiere para realizar un trabajo en la estación de servicio. Para analizar el sistema se utiliza el tiempo promedio en que se completa cada unidad, por lo que a veces tarda más o menos. Es probable que rara vez tarde el tiempo promedio exacto.

Cuando hay variabilidad, los ingenieros de producción ponen estaciones de paso entre estaciones de trabajo, las cuales reducen las variaciones, de modo que la variabilidad de una estación de trabajo repercute menos en otras. Una pregunta interesante de estudio en la simulación es, si se eliminan los mecanismos de amortiguamiento o si hubiera 100 unidades entre cada estación, ¿qué cambios provocaría en el desempeño del sistema?

DETALLES DEL EJERCICIO

Empiece con la hoja de cálculo como la configuró inicialmente el profesor McClain. Haga clic en la pestaña "Design" y observe que hay una línea de ensamble de tres estaciones. Las estaciones se llaman "Joe", "Next's" y "M2". Hay una zona de transición adelante de la estación "Joe" con una capacidad de una unidad y otra a continuación de "Next's" con capacidad de una unidad. Por la forma en que se diseñó esta simulación, "Joe" siempre tiene algo

en que trabajar y "M2" siempre deposita un trabajo terminado en un área de almacenamiento.

Observe que la distribución de tiempo de procesamiento tiene un comportamiento exponencial con una media de 5 y una desviación estándar de 5. La forma de esta distribución, descrita en la pestaña "Instructions", muestra que hay mucha variación en el tiempo de proceso. Conteste la pregunta a continuación antes de seguir con la parte siguiente del ejercicio:

Pregunta 1: ¿Cuántas unidades esperaría poder producir en 100 periodos?

Haga clic en la pestaña "Run" y, con los valores predeterminados de "Run-In Time", "Run Length" y "Repetitions", ejecute la simulación. Tabule la utilización promedio en cada máquina con base en las cinco repeticiones, y tabule la media y la desviación estándar de la producción del sistema (estos datos se encuentran en la hoja de cálculo "Machine").

Pregunta 2: ¿Cuántas unidades produjo realmente por 100 periodos? Explique cualquier diferencia entre el resultado de su simulación y el cálculo que hizo en la pregunta 1.

En seguida, represente el efecto del aumento de inventario de reserva en la producción del sistema. Puede cambiar la zona de transición antes de "Joe" y "Next's" al variar la celda de inventario llamada "Joe's Inventory" (está en la hoja de cálculo "Design") y luego haga clic en "Make Storage Areas Like #1".

Pregunta 3: Elabore una gráfica que muestre el efecto de cambiar las existencias de reserva en la producción del sistema. Tome en cuenta que los niveles de estas reservas varían de 0 hasta un máximo de 20 unidades. ¿Qué conclusión obtiene de su experimento?

Por último, experimente con el efecto de un cuello de botella en el sistema.

Pregunta 4: ¿Cuál sería el efecto en el desempeño del sistema si "M2" tiene un tiempo de procesamiento que promedió 6 unidades de tiempo? (Suponga que "Joe" y "Next's" aún ejecutan con un promedio de 5.) ¿Qué pasa con el inventario después de "Joe" y "Next's"? ¿Variar el tamaño de estos inventarios afecta?

Pregunta 5: ¿Qué pasa si en vez de que "M2" sea el cuello de botella, "Joe" es el cuello de botella? ¿Afecta a las zonas de transición de "Joe" y "Next's"?

Sea breve en sus respuestas. Su informe completo, incluso las gráficas, no debe ser de más de dos páginas a doble espacio.

Cuestionario

1. Poderosa herramienta que permite ejecutar experimentos con un modelo computadora de un sistema real.
2. Con esto se permite que el modelo de computadora considere la variabilidad en cosas como tiempos de demanda y de procesamiento.
3. Lógica que controla el comportamiento de la simulación.
4. Duración de simulación en tiempo o sucesos de simulación.
5. Término con que se verifica si el código de computadora representa en forma adecuada el sistema real.
6. Verdadero/Falso: La simulación es más útil cuando un problema puede resolverse matemáticamente.
7. Así se clasifica una simulación que salta de un punto en el tiempo directamente al segundo, y luego a un tercero, y así sucesivamente.

1. Simulación 2. Números aleatorios 3. Reglas de decisión 4. Duración de ejecución (o tiempo de ejecución) 5. Validación 6. Falso 7. Discreta

Bibliografía seleccionada

Kelton, W. D., *Simulation with Arena*, 4a. ed., Nueva York, McGraw-Hill, 2006.

Ross, S. M., *Simulation*, 4a. ed., Burlington, Massachusetts, Academic Press, Elsevier, 2006.

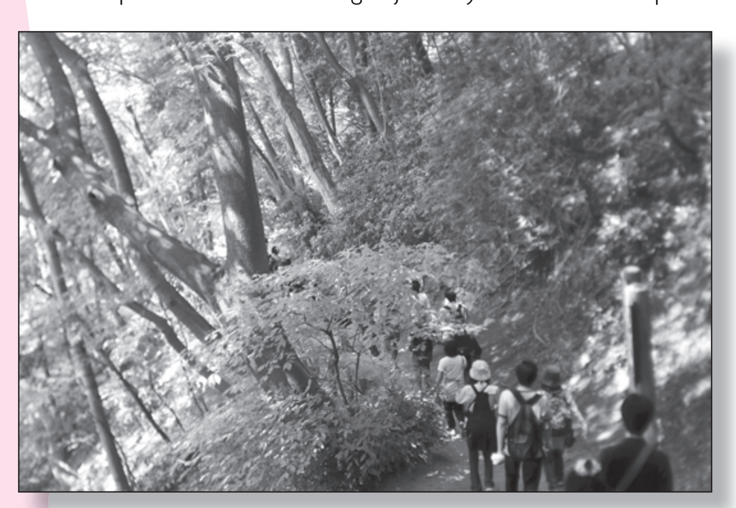
Winston, W. L., *Simulation Modeling Using @RISK*, Belmont, California, Wadsworth, 2000.

Capítulo 20

ADMINISTRACIÓN DE RESTRICCIONES

Escena: Alex Rogo es el gerente de la planta de Barrington de UniWare, una división de UniCo. Tenía muchos problemas para que la planta siguiera sus planes: reducción de inventario, mejora de calidad y recorte de costos, entre otros. Bill Peach, vicepresidente de la división, se había reunido con él y le dio tres meses para mejorar o cerraría la planta.

El hijo de Alex, Dave, y su grupo de niños exploradores tenían programada una excursión de 32 kilómetros (16 kilómetros hasta Devil's Gulch, donde acamparían para pasar la noche, y volverían al día siguiente). La esposa y el hijo de Alex lo convencieron de que se uniera al grupo. Ahora están en marcha y van con mucho retraso. La fila de exploradores se extendió y los más rápidos se adelantaron. Herbie, el más lento, está muy atrás en la retaguardia. Alex trata de imaginar cómo hacer para que los exploradores se mantengan juntos y avancen más deprisa.



Después de leer este capítulo, usted:

1. Entenderá conceptos básicos de la teoría de restricciones (TOC), incluso la "meta de la empresa" y "TOC, medidas de operación".
2. Verá cómo controlar cuellos de botella con conceptos de la TOC.
3. Modelará procesos con conceptos de la TOC.
4. Comparará los conceptos de MRP, JIT y TOC, y verá cómo se complementan entre sí.
5. Describirá cómo aplicar la TOC a otros campos de actividad distintos de los procesos de producción.

Al frente va Andy, que quiere fijar una marca de velocidad. Alex está atorado detrás del gordo Herbie, el muchacho más lento del bosque. Dentro de una hora, el que va adelante (si en verdad marcha a 4.8 kilómetros por hora) va a llevar una delantera de 3.2 kilómetros, lo que significa que habría que correr 3.2 kilómetros para alcanzarlo.

Alex piensa: "Si esto fuera mi planta, Peach no me daría tres meses, sino que me habría corrido en seguida. Lo que se nos exigía era que recorriéramos 16 kilómetros en cinco horas y apenas vamos a la mitad. Las existencias se pierden de vista. Los costos de transporte de las existencias van a aumentar. Vamos a arruinar la compañía".

—Muy bien —les dije—. Tómense las manos.

Todos se miraron.

—¡Vamos, háganlo! —les dije—. Y no se suelten.

Tomé a Herbie de la mano y, como si jalara una cadena, remonté el sendero y rebasé a toda la fila. Mano a mano, avanzó el resto de la tropa. Rebasé a Andy y seguí marchando. Cuando estuve al doble de la distancia, me detuve. Lo que hice fue darle toda la vuelta a la tropa, de modo que los muchachos tuvieran el orden totalmente opuesto.

Fuente: E. M. Goldratt y J. Cox, *The Goal: A Process of Ongoing Improvement*, 2a. ed. rev., Great Barrington, Massachusetts, North River Press, 1992, pp. 114-118.

—Escuchen —les dije—. En este orden vamos a quedarnos hasta que lleguemos a nuestro destino, ¿entendido?

Nadie rebasa a nadie.

—La idea de esta excursión no es ver quién llega más pronto, sino llegar juntos. No somos un montón de individuos: somos un equipo.

Así que volvimos a empezar, y funcionó. Lo digo en serio. Todos se mantuvieron juntos detrás de Herbie. Me fui al final de la línea para vigilarlos y esperar a que se abrieran brechas, pero no pasó.

—Señor Rogo, ¿no podemos poner alguien más veloz al frente? —preguntó un niño.

—Escuchen, si quieren ir más deprisa, tienen que idear una forma de que Herbie se apresure —contesté.

Uno de los niños de la fila preguntó:

—Hey, Herbie, ¿qué llevas en la mochila?

Herbie se detuvo y volteó. Le dije que viniera al final de la fila y que se quitara la mochila. Entonces levanté la mochila y casi la suelto.

—¡Herbie, esto pesa una tonelada! —le dije—. ¿Qué llevas ahí?

—Casi nada —respondió.

La abrí y me asomé. Salieron seis latas de refresco. Luego, latas de espagueti. En seguida, una caja de chocolates y dos de atún. Debajo de un impermeable y botas de hule y una bolsa con estacas para tienda de campaña, saqué una sartén grande de hierro.

—Mira, Herbie: te las arreglaste muy bien para arrastrar todo esto hasta aquí, pero tenemos que hacer que avances más rápido —le dije—. Si llevamos parte de tu carga, vas a funcionar mejor como líder de la fila.

Al final, Herbie entendió.

Emprendimos la marcha de nuevo, pero esta vez Herbie podía moverse. Aligerado de casi todo el peso de su mochila, era como si flotara. Volábamos: como tropa, nuestra velocidad era el doble que antes. Nos mantuvimos juntos. Bajó el inventario. Subió la producción.

Dave y yo compartimos la tienda esa noche. Nos acostamos cansados. Dave guardó silencio un rato y luego habló:

—¿Sabes, papá? Hoy me sentí muy orgulloso de ti.

—¿De veras? ¿Por qué?

—Porque averiguaste lo que pasaba y mantuviste a todos juntos y pusiste a Herbie al frente.

—Gracias —le dije—. En realidad aprendí muchas cosas hoy.

—¿En serio?

—Sí, cosas que creo que me van a servir para enderezar la planta —le dije.

—¿De verdad? ¿Cómo qué?

—¿Quieres que te cuente?

—¡Claro! —exclamó.

Así empezó el cambio radical que Alex impuso con éxito a su planta: aplicó principios simples a la operación de la planta.

La historia de Herbie es una analogía de los problemas que enfrenta el gerente Alex Rogo y procede de una novela que es éxito de librería, *The Goal*, del Dr. Eli Goldratt.[1] Hacia 1980, Goldratt declaró que los fabricantes no programaban ni controlaban bien sus recursos y existencias. Para resolver el problema, Goldratt y sus colaboradores de una compañía llamada Creative Output escribieron un software que programaba los trabajos mediante procesos de manufactura tomando en cuenta limitaciones de instalaciones, máquinas, personal, herramientas, materiales y todas las restricciones que afectarían la capacidad de una empresa al apegarse a un programa.

Se llamó *tecnología de producción optimizada* (TPO). Estos programas eran viables y exactos y se ejecutaban en una computadora en una fracción del tiempo que necesitaba un sistema

[1] Casi todo este capítulo se basa en lo escrito e impartido por el doctor Eliyahu M. Goldratt. El doctor Goldratt fundó el Avraham Y. Goldratt Institute. El sitio en internet del instituto es http://www.rogo.com. Agradecemos al doctor Goldratt que haya autorizado el uso de sus conceptos, definiciones y demás material.

ILUSTRACIÓN 20.1 Reglas de Goldratt para programar la producción.

1. No equilibre la capacidad: equilibre el ritmo.
2. El grado de aprovechamiento de un recurso que no se atasca no está determinado por su potencial, sino por alguna restricción del sistema.
3. No es lo mismo el aprovechamiento que la activación de un recurso.
4. Una hora perdida en un cuello de botella es una hora perdida para todo el sistema.
5. Una hora ahorrada en una etapa que no es un cuello de botella es una ilusión.
6. Los cuellos de botella rigen la producción y las existencias del sistema.
7. El lote de transferencia no siempre es, ni debe ser, igual al lote del proceso.
8. Un lote de proceso debe variar tanto en la ruta como en el tiempo.
9. Para fijar prioridades hay que examinar las restricciones del sistema. El tiempo de espera es un derivado de la programación.

de MRP. La causa es que la lógica de programación se basaba en la separación de las operaciones que generaban un cuello de botella y las que no lo generaban. Para explicar los principios de la lógica de la programación TPO, Goldratt describió nueve reglas de programación de la producción (vea la ilustración 20.1). Cuando alrededor de 100 empresas grandes instalaron este software, Goldratt pasó a promover la lógica del sistema, más que el software.

Al extender su método, Goldratt desarrolló su *teoría de las restricciones* (TOC, por sus siglas en inglés), que se popularizó como método de solución de problemas aplicable a muchos campos de los negocios. En la ilustración 20.2 se anotan los "cinco pasos enfocados de la TOC". En el Instituto Goldratt (http://www.goldratt.com) se imparten cursos para mejorar la producción, distribución y gestión de proyectos. El hilo común de los cursos son los conceptos de la TOC de Goldratt.

Antes de entrar en los detalles de la teoría de las restricciones es útil compararla con otros dos enfoques populares de mejora continua: Six Sigma y manufactura esbelta, los dos centrados en abatir los costos mediante la eliminación de desperdicios y la reducción de la variabilidad en todos los pasos de un proceso o componente de un sistema. En contraste, el método de cinco pasos de la TOC se encuadra más en su aplicación. Concentra sus iniciativas de mejora en la operación que restringe un proceso crucial o en el componente más débil que limita el desempeño de todo el sistema. Si estos elementos se administran bien, se deduce que es más probable que se alcance un mejor desempeño general de un sistema en relación con su meta.

El enfoque de este capítulo se centra en el método de manufactura de Goldratt. Para hilvanar bien el tema se decidió abordarlo a la manera del propio Goldratt: es decir, primero se definen algunos temas básicos de las empresas (propósitos, metas y medidas de desempeño) y luego se trata de la programación, materiales de reserva, influencias de la calidad e interacciones con marketing y contabilidad.

Manufactura sincronizada

En la base del trabajo de Goldratt está la noción de la **manufactura sincronizada**, que se refiere a que todo el proceso de producción opere armónicamente para alcanzar la meta de utilidades de la compañía. Cuando la manufactura se sincroniza, se pone el énfasis en el des-

ILUSTRACIÓN 20.2 Teoría de las restricciones (TOC) de Goldratt.

1. Identifique las restricciones del sistema (no es posible hacer mejoras si no se encuentra la restricción o el eslabón más débil).
2. Decida cómo aprovechar las restricciones del sistema (que las restricciones sean lo más eficaces posible).
3. Subordine todo a esa decisión (articule el resto del sistema para que apoye las restricciones, aunque se reduzca la eficiencia de los recursos no restringidos).
4. Eleve las restricciones del sistema (si la producción todavía es inadecuada, adquiera más de este recurso para que deje de ser una restricción).
5. Si en los pasos anteriores se fracturaron las restricciones, vuelva al paso 1 pero no deje que la inercia se vuelva la restricción del sistema (cuando se resuelva el problema de la restricción, vuelva al comienzo y empiece de nuevo. Es un proceso continuo de mejora por identificar las restricciones, fracturarlas e identificar las nuevas que surjan).

empeño total del sistema, no en medidas particulares, como aprovechamiento de mano de obra o de máquinas.

Meta de la empresa

Goldratt tiene una idea muy clara de la meta de una empresa:

LA META DE UNA EMPRESA ES GANAR DINERO.

Goldratt argumenta que si bien una organización tiene muchos propósitos (como abrir fuentes de empleo, consumir materias primas, aumentar las ventas, incrementar la participación en el mercado, desarrollar tecnología o elaborar productos de calidad), no garantizan la supervivencia de la empresa a la larga. Son medios para alcanzar la meta, no la meta en sí. Si la empresa gana dinero, y solo si gana dinero, prospera. Cuando una empresa tiene dinero puede recalcar más otros objetivos.

Mediciones de desempeño

Para medir bien el desempeño de una empresa deben aplicarse dos grupos de mediciones: uno desde el punto de vista financiero y otro desde el punto de vista de las operaciones.

Mediciones financieras

Hay tres medidas de la capacidad de la empresa para ganar dinero:

1. *Utilidades netas:* Medición absoluta en unidades monetarias.
2. *Rendimiento sobre la inversión:* Medición relativa basada en la inversión.
3. *Liquidez:* Medición de supervivencia.

Las tres medidas deben ir juntas. Por ejemplo, una *utilidad neta* de $10 millones es importante como medida, pero no tiene un significado real si no se sabe qué inversión generó esos $10 millones. Si la inversión fue de $100 millones es un *rendimiento* de 10% *sobre la inversión*. La *liquidez* es importante porque se necesita efectivo para pagar las facturas de las operaciones diarias; sin efectivo, la empresa quiebra, aunque sea muy sólida en términos contables normales. Una empresa puede tener muchas utilidades y un rendimiento elevado sobre la inversión, y sin embargo estar escasa de efectivo si, por ejemplo, las utilidades se destinan a comprar nueva maquinaria o están invertidas en existencias.

Mediciones operativas

Las medidas financieras funcionan bien en el nivel superior, pero no sirven en el nivel operativo. Se necesitan otras medidas que guíen:

Producción
Inventario
Gastos operativos

1. **Producción:** Ritmo con que el sistema genera dinero por medio de las ventas.
2. **Inventario:** Todo el dinero que el sistema invirtió en comprar lo que pretende vender.
3. **Gastos operativos:** Todo el dinero que el sistema gasta para convertir el inventario en producto.

La producción se define específicamente como bienes *vendidos*. Un inventario de bienes terminados no es producto, sino existencias. Debe haber ventas reales. Se define específicamente así para evitar que el sistema siga produciendo con la ilusión de que los bienes *puedan* venderse. Esta acción no hace más que aumentar los costos, acumular inventario y gastar efectivo. El inventario actual (bienes terminados o por terminar) se valora únicamente por el costo de los materiales que contiene. Se ignoran los costos de mano de obra y las horas de máquina (en términos contables tradicionales, el dinero gastado se llama *valor agregado*).

Aunque es un punto que a menudo se objeta, tomar solo los costos de las materias primas es adoptar una postura conservadora. Con el método del valor agregado (que incluye todos los cos-

ILUSTRACIÓN 20.3 Meta operativa.

La meta operacional de una empresa es incrementar la producción mientras reduce el inventario y los gastos operativos.

tos de producción), el inventario se infla y presenta graves problemas en el estado de resultados y el balance general. Por ejemplo, tómese un inventario de bienes terminados o trabajos por terminar que se volvió obsoleto o cuyo contrato se canceló. Declarar que un volumen considerable de existencias es desperdicio constituye una decisión gerencial difícil, porque de ordinario pasan en libros como activos aunque no tengan valor real. Tomar solo los costos de materias primas también evita el problema de determinar qué costos son directos y cuáles indirectos.

Los gastos operativos incluyen los costos de producción (como mano de obra directa e indirecta, costos de mantener inventario, depreciación de la maquinaria y materiales, y suministros para producción) y los administrativos. Aquí, la diferencia fundamental es que no hay que separar la mano de obra directa de la indirecta.

Como se muestra en la ilustración 20.3, el objetivo de una empresa es tratar las tres mediciones en forma simultánea y continua; con esto se alcanza la meta de ganar dinero.

Desde el punto de vista de las operaciones, la meta de la empresa es

AUMENTAR LA PRODUCCIÓN Y, AL MISMO TIEMPO, REDUCIR INVENTARIOS Y GASTOS DE OPERACIÓN.

Productividad

Por lo común, la **productividad** se mide en términos de producción por hora de trabajo. Sin embargo, esta medición no asegura que la empresa gane dinero (por ejemplo, cuando la producción adicional no se vende, sino que se acumula como inventario). Para probar si la productividad aumentó se deben formular estas preguntas: ¿La acción emprendida aumentó la producción? ¿Se redujo el inventario? ¿Bajaron los gastos operativos? Esto lleva a una nueva definición: **Productividad**

LA PRODUCTIVIDAD CONSISTE EN TODAS LAS ACCIONES QUE ACERCAN A UNA EMPRESA A SU META.

Capacidad desequilibrada

Históricamente (y todavía lo común en la mayoría de las empresas), los fabricantes pretenden equilibrar la capacidad en una secuencia de procesos con la intención de hacerla coincidir con la demanda del mercado. Pero es un error; es mejor una *capacidad desequilibrada*. La descripción al inicio del capítulo es un ejemplo de capacidad desequilibrada. Algunos excursionistas eran rápidos y Herbie era muy lento. La dificultad estriba en sacar provecho de la diferencia.

Considere, a modo de ejemplo, un proceso lineal sencillo con varias estaciones. Cuando se establece el ritmo de producción de la línea, los encargados tratan de igualar las capacidades de todas las estaciones, lo que se consigue al ajustar máquinas y equipo, carga de trabajo, capacidades y tipo de empleados asignados, herramientas usadas, presupuesto para horas extra, etcétera.

En cambio, según las ideas de la manufactura sincronizada, se considera mala decisión igualar todas las capacidades. Esta uniformidad sería posible solo si los tiempos de producción de todas las estaciones fueran constantes o tuvieran una distribución muy estrecha. Una variación normal de los tiempos de producción hace que las estaciones que siguen en el proceso queden ociosas cuando las estaciones anteriores se tardan. Por el contrario, si las primeras estaciones procesan en menos tiempo, se acumula inventario entre las estaciones. El efecto de esta varia-

ción estadística se acumula. La única manera de aligerar esta variación es aumentar el trabajo en proceso de modo que se absorba dicha variación (una mala decisión, porque se debe tratar de reducir el trabajo por terminar) o aumentar las capacidades en las estaciones siguientes, para que compensen los tiempos más demorados de las anteriores. La regla es que las capacidades de una secuencia no deben equilibrarse en niveles iguales, sino que hay que tratar de equilibrar el ritmo de la producción en todo el sistema. Cuando se equilibra el ritmo, se desequilibran las capacidades. En la siguiente sección se ahonda en esta idea.

SUCESOS DEPENDIENTES Y FLUCTUACIONES ESTADÍSTICAS

El término *sucesos dependientes* se refiere a la secuencia de un proceso. Si un proceso transcurre de A a B a C y a D, y cada paso debe completarse antes de ir al siguiente, B, C y D son sucesos dependientes. La capacidad de hacer lo siguiente del proceso depende de lo precedente.

La *fluctuación estadística* se refiere a la variación normal en torno a una media o promedio. Cuando ocurren fluctuaciones estadísticas en una secuencia dependiente sin inventario entre las estaciones de trabajo, no hay ninguna oportunidad de alcanzar la producción promedio. Cuando un proceso tarda más que el promedio, el siguiente no puede compensar el tiempo. A continuación se presenta un ejemplo para mostrar lo que puede ocurrir.

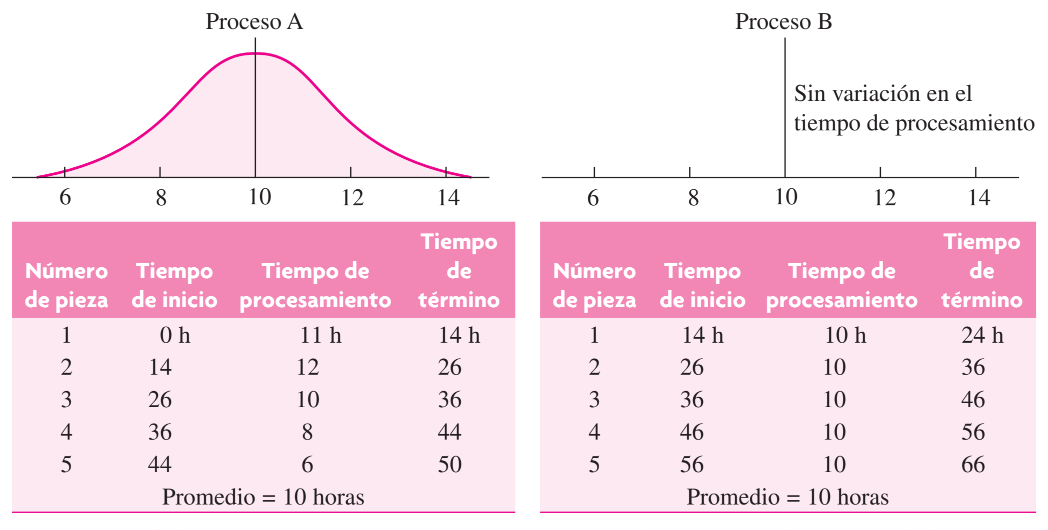
Suponga que se quieren procesar cinco piezas que procederían de las dos distribuciones indicadas en la ilustración 20.4. La secuencia del proceso es de A a B, sin espacio intermedio para inventario. El proceso A dura en promedio 10 horas y tiene una desviación estándar de dos horas. Esto significa que se esperaría que 95.5% del tiempo del proceso fuera de entre seis y 14 horas (más o menos dos sigmas). El proceso B tiene un tiempo constante de 10 horas.

Se observa que la última pieza se terminó en 66 horas, lo que da un promedio de 13.2 horas por pieza, aunque el tiempo previsto para completar el trabajo era de 60 horas y un promedio de 12 por pieza (tomando en cuenta el tiempo de espera de la primera unidad en el proceso B).

Suponga que se invierten los procesos: B alimenta a A. Para ilustrar las posibles demoras, también se invierten los tiempos de desempeño de A (vea la ilustración 20.5). Aquí también el tiempo de terminación de la última pieza es mayor que el promedio (13.2 horas en lugar de 12). Los procesos A y B tienen el mismo tiempo promedio de desempeño de 10 horas, pero el procesamiento se retrasa. En ningún caso se alcanzaría el ritmo promedio de producción esperado. ¿Por qué? Porque no puede compensarse el tiempo perdido cuando el segundo proceso está ocioso.

Este ejemplo tiene la finalidad de cuestionar la teoría de que las capacidades deben equilibrarse en tiempos promedio. *En lugar de equilibrar las capacidades debe equilibrarse el ritmo de producción en el sistema*.

ILUSTRACIÓN 20.4 Tiempos de procesamiento y terminado del proceso A al B.

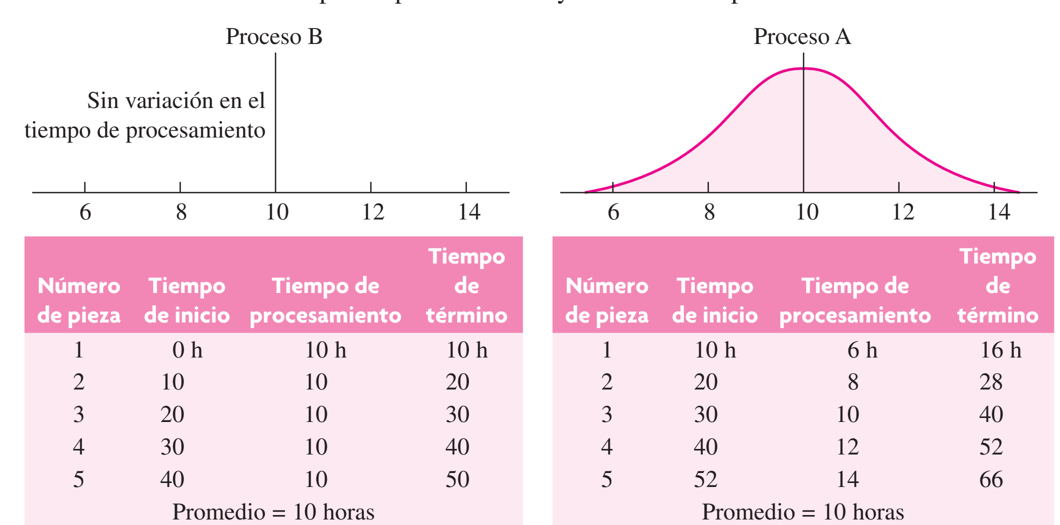


Número de pieza	Tiempo de inicio	Tiempo de procesamiento	Tiempo de término
1	0 h	11 h	14 h
2	14	12	26
3	26	10	36
4	36	8	44
5	44	6	50
Promedio = 10 horas			

Número de pieza	Tiempo de inicio	Tiempo de procesamiento	Tiempo de término
1	14 h	10 h	24 h
2	26	10	36
3	36	10	46
4	46	10	56
5	56	10	66
Promedio = 10 horas			

En este caso, el flujo es del proceso A al B. El proceso A dura un promedio de 10 horas y tiene una desviación estándar de dos horas; el proceso B tiene un tiempo de procesamiento constante de 10 horas.

ILUSTRACIÓN 20.5 Tiempos de procesamiento y terminado del proceso B al A.



Número de pieza	Tiempo de inicio	Tiempo de procesamiento	Tiempo de término
1	0 h	10 h	10 h
2	10	10	20
3	20	10	30
4	30	10	40
5	40	10	50
Promedio = 10 horas			

Número de pieza	Tiempo de inicio	Tiempo de procesamiento	Tiempo de término
1	10 h	6 h	16 h
2	20	8	28
3	30	10	40
4	40	12	52
5	52	14	66
Promedio = 10 horas			

Es un caso semejante a la ilustración 20.4. Sin embargo, la secuencia de procesamiento se invirtió, lo mismo que el orden de los tiempos del proceso A.

Cuellos de botella y recursos restringidos por la capacidad

Cuello de botella

Canal despejado

Recurso restringido por la capacidad (RRC)

Un **cuello de botella** se define como cualquier recurso cuya capacidad sea menor que su demanda. Un cuello de botella es una restricción en el sistema que limita la producción. En el proceso de manufactura es el punto donde el caudal se adelgaza hasta ser una corriente estrecha. Un cuello de botella puede ser una máquina, falta de trabajadores capacitados o una herramienta especial. En la industria se ha visto que la mayoría de las plantas tienen muy pocas operaciones con cuellos de botella.

Si no hay cuellos de botella, sobra capacidad y es preciso cambiar el sistema para generar un cuello de botella (como más tiempo de preparación o aminorar la capacidad), como se verá más adelante.

La *capacidad* se define como el tiempo disponible para la producción. Aquí se excluyen mantenimiento y otros tiempos sin trabajar. Un **canal despejado** es todo recurso cuya capacidad es mayor que la demanda que se le impone. Por tanto, un canal despejado no debe trabajar de continuo, pues produciría más de lo que se necesita. Un canal despejado incluye tiempo ocioso.

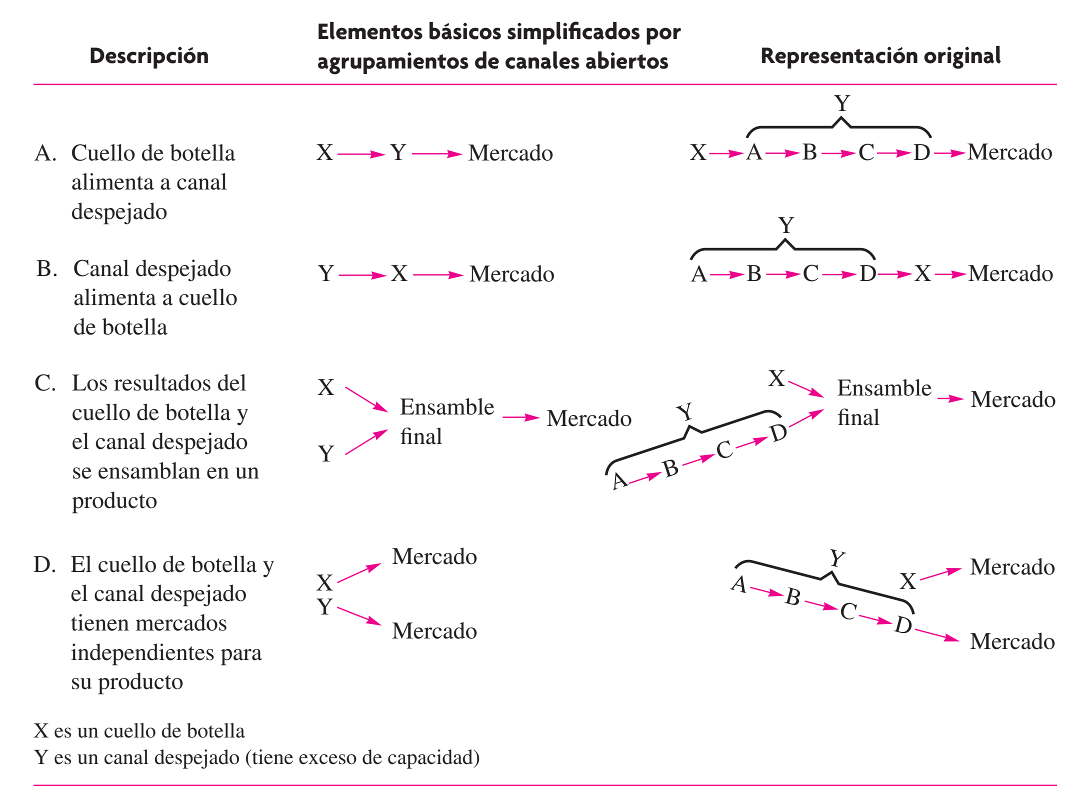
Un **recurso restringido por la capacidad (RRC)** es aquel cuya utilización se acerca a su capacidad y puede ser un cuello de botella si no se programa con cuidado. Por ejemplo, un RRC puede recibir trabajo de varias fuentes en un entorno de planta fabril. Si estas fuentes programan su ritmo de manera que se genere tiempo ocioso ocasional para el RRC que supere su capacidad sin usar, el RRC se convierte en cuello de botella cuando el volumen del trabajo llega más tarde. Esto ocurre si se cambia el tamaño de los lotes o si alguna de las operaciones anteriores no funciona por cualquier motivo y no envía suficiente trabajo al RRC.

En las industrias con procesos muy automatizados, inventario y producto se vigilan también con sistemas automatizados, como esta sala de controles de la acería de reducción en frío de U.S. Steel. Todas las operaciones, del alto horno a los elementos terminados, se controlan aquí, incluso la rapidez de procesamiento en cada paso.

Elementos básicos para la construcción en manufactura

Todos los procesos y flujos de manufactura se simplifican en cuatro configuraciones básicas, como se indica en la ilustración 20.6. En la ilustración 20.6*A*, el producto que sale del proceso X pasa al proceso Y. En B, Y alimenta a X. En C, los procesos X y Y generan subensambles

ILUSTRACIÓN 20.6 Elementos básicos de manufactura obtenidos al agrupar los ritmos de procesamiento.



que se combinan, por ejemplo, para cubrir la demanda del mercado. En D, los procesos X y Y son independientes y abastecen a sus propios mercados. En la última columna de la ilustración se ven las secuencias posibles de recursos de canal despejado, que se agrupan y muestran como Y, para simplificar la representación.

El valor de usar estos elementos básicos es que el análisis y control del proceso de producción se simplifica en gran medida. Más que vigilar y programar todos los pasos de la secuencia de producción, por ejemplo mediante operaciones en canales despejados, la atención se dirige a los puntos inicial y final de los agrupamientos de los bloques de construcción.

Métodos de control

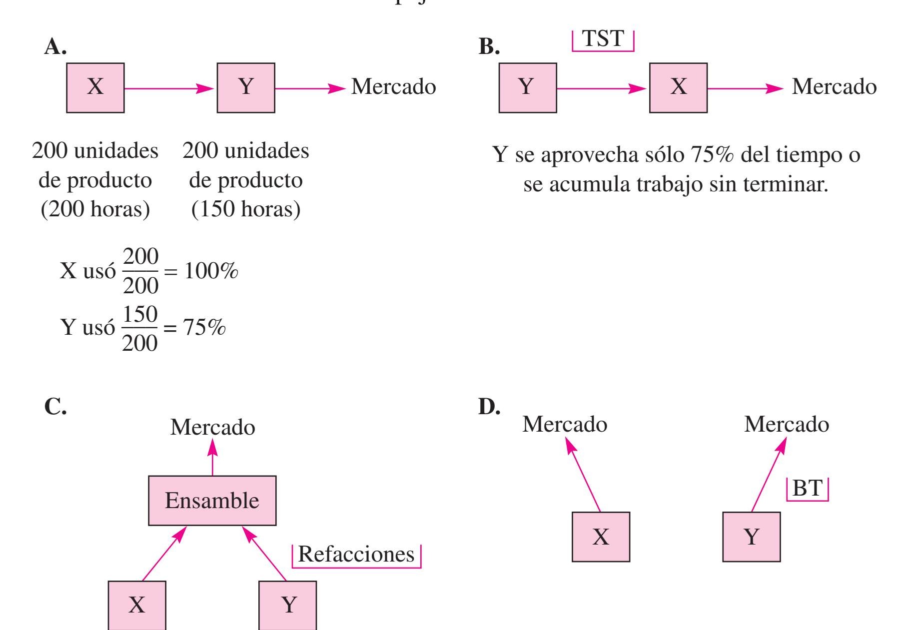
En la ilustración 20.7 se muestra cómo manejar los recursos de cuello de botella y de canal despejado.

Los recursos X y Y son centros de trabajo que generan diversos productos. Cada centro dispone de 200 horas mensuales. Por simplicidad, suponga que se trata nada más que de un producto y que se van a modificar las condiciones y el margen de utilidad respecto de cuatro situaciones. Cada unidad de X requiere una hora de tiempo de producción y la demanda del mercado es de 200 unidades por mes. Cada unidad de Y toma 45 minutos de tiempo de producción y la demanda del mercado también es de 200 unidades por mes.

En la ilustración 20.7*A* se muestra un cuello de botella que alimenta un canal despejado. El producto pasa del centro de trabajo X al Y. X es el cuello de botella porque tiene una capacidad de 200 unidades (200 horas/una hora por unidad) y Y tiene una capacidad de 267 unidades (200 horas/45 minutos por unidad). Como Y no tiene que esperar a X y tiene más capacidad, no se acumulan productos de más en el sistema. Todos avanzan hacia el mercado.

La ilustración 20.7*B* es lo inverso de A, pues Y alimenta a X: un canal despejado alimenta a un cuello de botella. Como Y tiene una capacidad de 267 unidades y X de apenas 200, hay que

ILUSTRACIÓN 20.7 Tránsito del producto a través de cuellos de botella y canales despejados.



X es un cuello de botella; Y es un canal despejado. X y Y disponen de 200 horas.

producir sólo 200 unidades de Y (75% de su capacidad) porque de otro modo se acumula trabajo sin terminar junto a X.

En la ilustración 20.7*C* se muestra que los productos elaborados por X y Y se ensamblan y se venden en el mercado. Como una unidad de X y una unidad de Y forman un ensamble, X es el cuello de botella con 200 unidades de capacidad y, por consiguiente, Y no debe trabajar más de 75% para que no se acumulen piezas de más.

En la ilustración 20.7*D*, el mercado demanda cantidades iguales de X y Y. En este caso, a estos productos se les puede llamar "bienes terminados", porque su demanda es independiente. Aquí Y tiene acceso a materiales independientes de X y, como tiene más capacidad de la que se necesita para satisfacer el mercado, puede elaborar más de lo que pide el mercado, aunque esto generaría un inventario de bienes terminados innecesarios.

Las cuatro situaciones que se acaban de exponer muestran recursos de cuello de botella y canal despejado, y sus relaciones con la producción y la demanda del mercado. Muestran que la práctica industrial de tomar el aprovechamiento de recursos como medición de desempeño alienta el uso en demasía de canales despejados y el resultado es inventarios con excedentes.

COMPONENTES DEL TIEMPO

Los siguientes tiempos conforman el ciclo de producción:

1. *Tiempo de preparación:* Tiempo que espera una pieza a que se prepare un recurso para trabajarla.
2. *Tiempo de procesamiento:* Tiempo en que se procesa la pieza.
3. *Tiempo de fila:* El tiempo que una pieza espera un recurso mientras este se encuentra ocupado en otra cosa.
4. *Tiempo de espera:* Tiempo que espera una pieza no por un recurso, sino por otra pieza con la que va a armarse.

5. *Tiempo ocioso:* Tiempo sin utilizar, es decir, el tiempo del ciclo menos los tiempos de preparación, procesamiento, fila y espera.

Cuando una pieza espera a pasar por un cuello de botella, el tiempo de fila es el más tardado. Como se verá adelante, la explicación es que el cuello de botella tiene pendiente mucho trabajo (para asegurarse de que siempre trabaje). En un canal despejado, el tiempo de espera es el más prolongado: una pieza tiene que esperar la llegada de otras piezas para que se haga el ensamble.

Los programadores se sienten tentados a ahorrar tiempo de preparación. Suponga que se duplica el tamaño de los lotes para ahorrar la mitad del tiempo de preparación. Así, con un lote del doble de tamaño, todos los demás tiempos (de procesamiento, fila y espera) se multiplican por dos. Como estos tiempos se duplican pero solo se ahorra la mitad del tiempo de procesamiento, el resultado neto es que el trabajo sin terminar se incrementa aproximadamente al doble, igual que la inversión en inventario.

Localización de cuellos de botella

Hay dos maneras de encontrar cuellos de botella en un sistema. Uno es ejecutar un perfil de recursos de capacidad; el otro es aprovechar el conocimiento que se tenga de una planta, examinar el sistema en operación y hablar con supervisores y trabajadores.

Para trazar un perfil de recursos de capacidad se estudian las cargas que imponen sobre cada recurso los productos que tienen programados. Al ejecutar un perfil de capacidad se parte del supuesto de que los datos son precisos, aunque no sean perfectos. Por ejemplo, considere que los productos se canalizaron por los recursos M1 a M5. Suponga que el primer cálculo de las cargas de los productos sobre estos recursos muestran lo siguiente:

M1	130% de capacidad
M2	120% de capacidad
M3	105% de capacidad
M4	95% de capacidad
M5	85% de capacidad

Para este primer análisis cabe descartar los recursos con menor porcentaje, pues no son cuellos de botella y no deben representar un problema. Con esta lista a la mano hay que revisar en persona las cinco operaciones de las instalaciones. Observe que M1, M2 y M3 tienen una carga excesiva; es decir, están programadas a más de su capacidad. Sería de esperar que hubiera grandes cantidades de inventario junto a M1 o, en caso contrario, debería haber errores en otra pieza, como la nomenclatura de materiales o las hojas de rutas. Por ejemplo, suponga que en las observaciones y por comentarios del personal de la planta se muestra que hay errores en M1, M2, M3 y M4. Se encuentra su origen, se hacen las correcciones apropiadas y se vuelve a trazar el perfil de capacidad:

M2	115% de capacidad
M1	110% de capacidad
M3	105% de capacidad
M4	90% de capacidad
M5	85% de capacidad

M1, M2 y M3 todavía no tienen suficiente capacidad, pero M2 es el más grave. Si ahora se tiene confianza en las cifras, se designa M2 como el cuello de botella. Si los datos contuvieran demasiados errores para un análisis detallado, no valdría la pena perder el tiempo en hacer correcciones (podrían pasar meses).

Ahorro de tiempo

Recuerde que un cuello de botella es un recurso con capacidad menor que su demanda. Como el enfoque aquí es en los cuellos de botella que restringen la *producción* (definido como *ventas*), la capacidad de un cuello de botella es menor que la demanda del mercado. Hay varias maneras de ahorrar tiempo en un cuello de botella (mejores herramientas, mano de obra de más calidad, lotes

más grandes, reducción de tiempos de preparación, etc.), pero ¿es valioso el tiempo adicional? ¡Es mucho muy valioso!

> UNA HORA AHORRADA EN EL CUELLO DE BOTELLA AÑADE UNA HORA A TODO EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN.

¿Qué pasa si se ahorra tiempo en un recurso de canal despejado?

> UNA HORA AHORRADA EN UN CANAL DESPEJADO ES UNA ILUSIÓN Y SOLO AÑADE UNA HORA A SU TIEMPO OCIOSO.

Como un canal despejado tiene más capacidad de la que necesita el sistema para su producción actual, ya incluye tiempo ocioso. Implantar medidas para ahorrar tiempo no aumenta la producción, sino el tiempo ocioso.

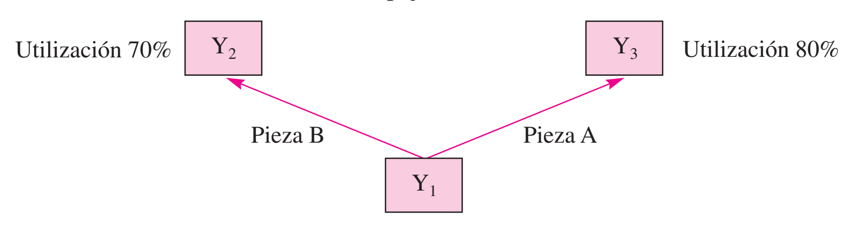
CÓMO EVITAR LA CONVERSIÓN DE UN CANAL DESPEJADO EN CUELLO DE BOTELLA

Cuando se programan recursos de canal despejado con lotes más grandes, esto puede generar un cuello de botella que, desde luego, se quiere evitar. Considere el caso de la ilustración 20.8, en que Y_1, Y_2 y Y_3 son recursos de canal despejado. Actualmente, Y_1 produce la pieza A, que se canaliza a Y_3, y la pieza B, que se canaliza a Y_2. Para producir la pieza A, Y_1 tiene un tiempo de preparación de 200 minutos y un tiempo de procesamiento de un minuto por pieza. La pieza A se produce por ahora en lotes de 500 unidades. Para producir la pieza B, Y_1 tiene un tiempo de preparación de 150 minutos y un tiempo de procesamiento de dos minutos por pieza. La pieza B se produce en lotes de 200 unidades. Con esta secuencia, Y_2 se utiliza 70% del tiempo, y Y_3, 80%.

Como el tiempo de preparación es de 200 minutos para Y_1 en la pieza A, el operario y el supervisor cometen el error de pensar que se ganaría producción con menos preparaciones. Suponga que se aumenta el tamaño del lote a 1 500 unidades para ver qué pasa. La ilusión es que se ahorran 400 minutos de preparación (en lugar de tardar 600 minutos en producir tres lotes de 500 unidades cada uno, hay una sola preparación para un lote de 1 500 unidades).

El problema es que los 400 minutos ahorrados no sirven para nada, pero esta demora interfería con la producción de la pieza B, porque Y_1 produce la pieza B para Y_2. La secuencia antes de que se hicieran cambios era: pieza A (700 minutos), pieza B (550 minutos), pieza A (700 minutos), pieza B (550 minutos), etc. En cambio, al aumentar el tamaño del lote de la pieza A a 1 500 unidades (1 700 minutos), Y_2 y Y_3 se quedarían sin trabajo y tendrían que esperar más tiempo del que disponen (30% de tiempo ocioso para Y_2 y 20% para Y_3). La nueva secuencia sería pieza A (1 700 minutos), pieza B (1 350 minutos), etc. Este aumento del tiempo de espera de Y_2 y Y_3 sería un trastorno. Y_2 y Y_3 se convertirían en cuellos de botella temporales y se perdería producción en todo el sistema.

ILUSTRACIÓN 20.8 Recursos de canal despejado.



Pieza A:	Tamaño del lote = 500 piezas	Pieza B:	Tamaño del lote = 200 piezas
	Tiempo de preparación = 200 minutos		Tiempo de preparación = 150 minutos
	Tiempo de procesamiento = 1 minuto/pieza		Tiempo de procesamiento = 2 minuto/pieza

El recurso Y_1 produce la pieza A para el recurso Y_3 y la pieza B para el recurso Y_2.

Tambor, reservas, soga

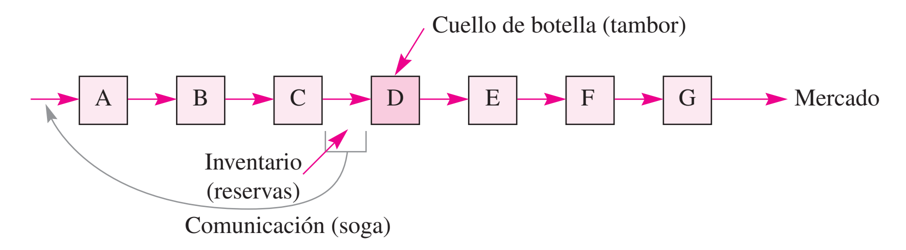
Todo sistema de producción necesita uno o varios puntos de control del paso de los productos. Si el sistema contiene un cuello de botella, ahí está el mejor lugar para situar un control. Este punto de control se llama *tambor* porque marca el ritmo para el funcionamiento del resto del sistema (o de las partes en las que influye). Recuerde que un *cuello de botella* se define como un recurso que no tiene capacidad para satisfacer la demanda. Por tanto, un cuello de botella tiene que trabajar todo el tiempo y un motivo para usarlo como punto de control es cerciorarse de que las operaciones anteriores no generen tanto que se acumule inventario de trabajos sin terminar y que el cuello de botella no pueda manejar.

Si no hay un cuello de botella, el siguiente mejor lugar para poner el tambor sería un recurso restringido por la capacidad (RRC) que, recuerde, es el que opera casi a toda su capacidad pero en promedio tiene capacidad suficiente siempre que no se programe mal (por ejemplo, con demasiadas preparaciones que agoten su capacidad o que produzca un lote tan grande que deje sin trabajo a las operaciones siguientes).

Si no hay cuellos de botella ni RRC, el punto de control puede designarse donde sea. En general, la mejor ubicación sería algún punto de divergencia donde la producción del recurso se use en varias operaciones posteriores.

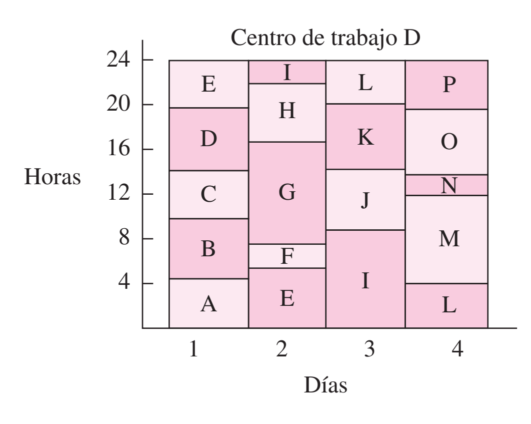
Siempre es más difícil manejar un cuello de botella y esta exposición se enfoca en asegurarse de que los cuellos de botella siempre tengan trabajo que hacer. En la ilustración 20.9 se muestra un flujo lineal simple de A a G. Suponga que el recurso D, que es un centro de máquinas, es un cuello de botella. Esto significa que las capacidades son mayores antes y después. Si esta secuencia no se controla, sería de esperar que hubiera un inventario voluminoso en el centro de trabajo D y muy poco en otras partes. Sería magro el inventario de bienes terminados porque (según la definición de *cuello de botella*) todos los productos se llevarían al mercado.

ILUSTRACIÓN 20.9 Flujo lineal de un producto con un cuello de botella.



El producto pasa por los centros de trabajo A a G. El centro de trabajo D es un cuello de botella.

ILUSTRACIÓN 20.10
Perfil de capacidad del centro de trabajo D (que muestra los trabajos encargados A a P durante cuatro días de 24 horas).



Deben hacerse dos cosas con este cuello de botella.

1. Poner ahí un inventario de *reserva* para que siempre tenga trabajo. Como es un cuello de botella, su producción determina lo producido por el sistema.
2. Comunicar a A lo que D produce, para que A proporcione solo ese monto y así no se acumule el inventario. Esta comunicación se llama *soga*. Puede ser formal (como en un programa) o informal (como en los comentarios cotidianos).

El inventario de reserva al comienzo de la operación del cuello de botella representa un *tiempo de reserva*. Se quiere que el centro de trabajo D siempre tenga qué hacer y no importa en cuál de los productos programados trabaje. Por ejemplo, se podría dar 96 horas de inventario en la reserva, como se muestra en la secuencia de A a P de la ilustración 20.10. Los trabajos de A a aproximadamente la mitad de E están programados para las 24 horas del día 1; los trabajos de E a una parte de I están programados para el segundo día de 24 horas; los trabajos de I a parte de L están programados para el tercer día de 24 horas, y los trabajos de L a P están programados para

el cuarto día de 24 horas, lo que da un total de 96 horas. Esto significa que por variación normal o si ocurre algo en operaciones anteriores y se atora temporalmente la producción, D puede trabajar otras 96 horas y proteger el producto (dicho sea de paso, las 96 horas de trabajo incluyen tiempos de preparación y procesamiento contenidos en las hojas de trabajos, las cuales por lo regular se basan en tiempos estándares de ingeniería).

A la pregunta de ¿cuánto debe ser el tiempo de reserva?, la respuesta es: cuanto sea necesario para que el cuello de botella no deje de trabajar. Al examinar la variación de cada operación, es posible hacer una conjetura. En teoría, el tamaño de la reserva se calcula estadísticamente al examinar los datos del desempeño anterior o bien es posible simular la secuencia. En cualquier caso, la precisión no es crucial. Podría partirse de una estimación del tiempo de reserva como un cuarto del tiempo total de espera del sistema. Por ejemplo, la secuencia A a G de la ilustración 20.9 tardó en total 16 días. Podría empezarse con una reserva de cuatro días antes de D. Si en los siguientes días o semanas se agota la reserva hay que aumentar su tamaño, para lo cual se abastece de más material a la primera operación, A. Por otro lado, si se ve que la reserva nunca baja a menos de tres días, es preferible contener las entregas de A y reducir el tiempo de reserva a tres días. La experiencia es el mejor determinante del tamaño final de la reserva.

Si el tambor no es un cuello de botella sino un RRC (y puede tener menos tiempo ocioso), quizá convenga crear dos inventarios de reserva: uno antes del RRC y el segundo al final, como bienes terminados (vea la ilustración 20.11). El inventario de bienes terminados protege el mercado, y el tiempo de reserva antes del RRC protege el producto. Para este caso del RRC, el mercado no asimila todo lo que puede producirse, así que hay que garantizar que haya bienes terminados cuando el mercado decida comprar.

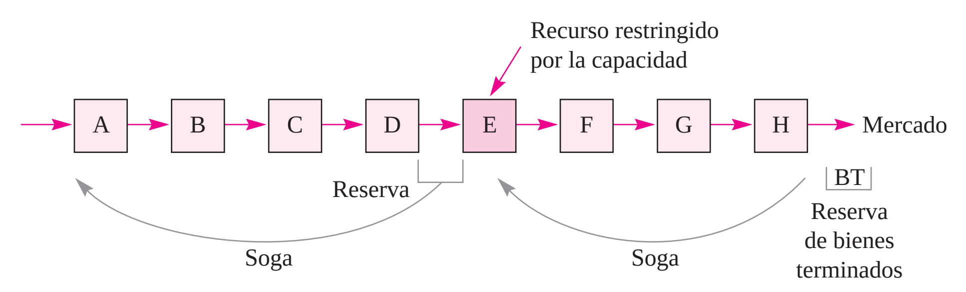
En este caso se necesitan dos sogas: 1) una que comunique del inventario de bienes terminados al tambor, para aumentar o disminuir la producción, y 2) una soga del tambor al punto de suministro de material, para especificar cuánto se necesita.

En la ilustración 20.12 se encuentra una red más detallada en la que se muestra un cuello de botella. Se proporcionan inventarios no solo antes del cuello de botella, sino también después de la secuencia de procesos de canal despejado que alimentan el subensamble. Esto asegura que el tránsito del producto no disminuya su rapidez por tener que esperar cuando sale del cuello de botella.

Importancia de la calidad

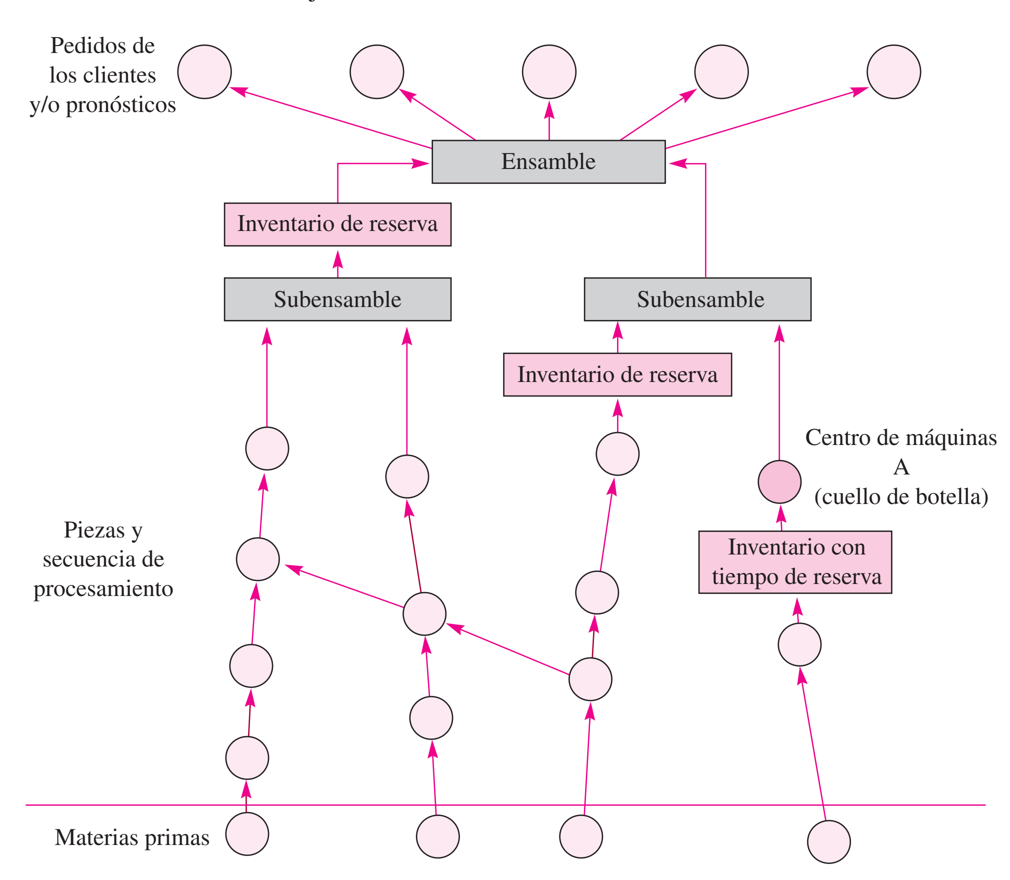
Un sistema de MRP acepta que los rechazos acumulen un lote mayor del necesario. Un sistema JIT no tolera la mala calidad, porque su éxito se basa en una capacidad equilibrada. Una pieza defectuosa en un componente provoca la caída de un sistema JIT y que se pierda el producto de todo el sistema. En cambio, la manufactura sincronizada tiene exceso de capacidad en todo el sistema, salvo en los cuellos de botella. Si antes de un cuello se produce una pieza mala, el resultado es que solo se pierde material. En virtud del exceso de capacidad, todavía hay tiempo

Ilustración 20.11 Flujo lineal de productos con un recurso restringido por la capacidad.



Tránsito de productos por los centros de trabajo desde A y hasta H. El centro de trabajo E está restringido por la capacidad.

ILUSTRACIÓN 20.12 Flujo en red con un cuello de botella.



Los productos se procesan de las materias primas al mercado. Las reservas de los inventarios protegen la producción.

para que otra operación reemplace la que acaba de desecharse. Pero en el cuello de botella no hay tiempo adicional, así que debe hacerse una inspección de control de calidad justo antes para asegurarse de que ahí se trabajen únicamente productos buenos. También es necesario asegurarse después del cuello de botella de que los productos que pasan no se desechen, lo que representaría producción perdida.

TAMAÑO DE LOS LOTES

¿Qué tamaño debe tener un lote en una línea de ensamble? Algunos contestarían "uno", porque se mueve una unidad cada vez; otros dirían "infinito", porque la línea sigue produciendo la misma pieza. Las dos respuestas son correctas, lo que varía es el punto de vista. La primera respuesta, "uno", en una línea de montaje se centra en la *pieza* que se transfiere una unidad cada vez. La segunda se enfoca en el *proceso*. Desde el punto de vista del recurso, el lote del proceso es infinito porque realiza de manera continua las mismas unidades. Así, en una línea de ensamble, se tiene un *lote de procesos* infinito (o de todas las unidades hasta que se cambie y se prepare otro proceso) y un *lote de transferencia* de una unidad.

En el capítulo 17 (sobre el control de inventarios) se examinaron a fondo los costos de preparación y de traslado. En el contexto actual, los costos de preparación se relacionan con el lote de procesos, y los costos de traslado, con el lote de transferencia.

Un lote de procesos tiene un tamaño lo bastante grande o lo bastante pequeño para procesarse en determinado tiempo. Desde el punto de vista de un recurso, hay dos tiempos: el tiempo de preparación y el tiempo de ejecución de procesamiento (si se ignora el tiempo de mantenimiento o reparación). Los lotes de procesos mayores requieren menos preparación y por ende pueden

generar más tiempo de procesamiento y más producción. En los recursos de cuello de botella son deseables lotes más grandes. En el caso de los recursos de canal despejado se prefieren menores lotes de procesos (se gasta el tiempo ocioso), lo que reduce el inventario de trabajos sin terminar.

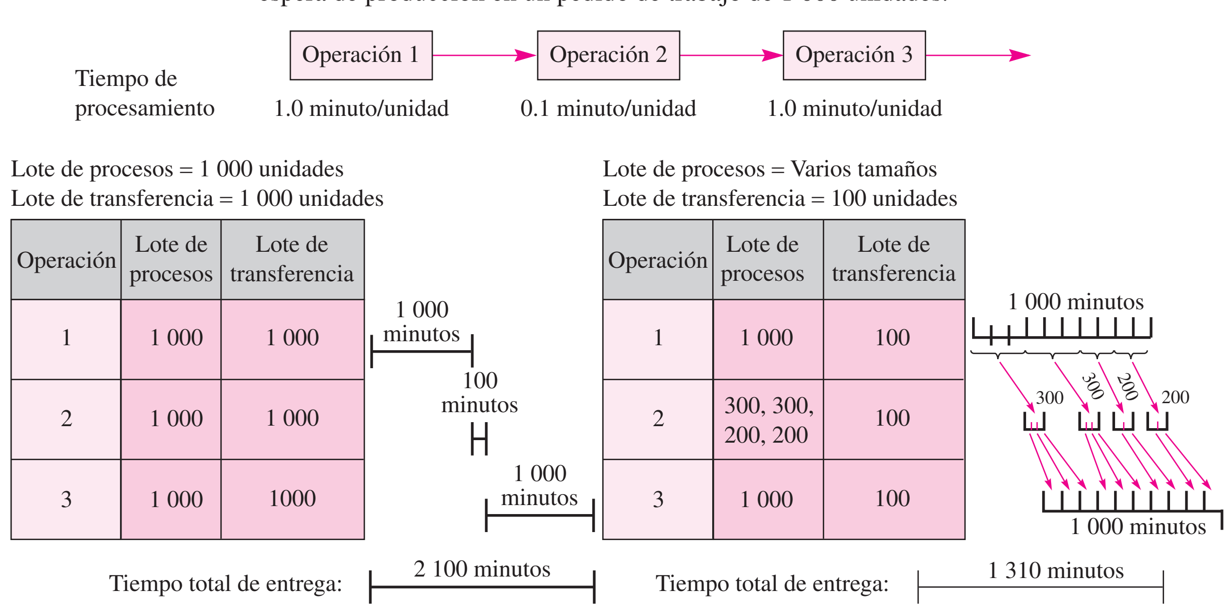
Los lotes de transferencia se refieren al movimiento de parte del lote de procesos. En lugar de esperar a que se termine todo el lote, el trabajo terminado en esa operación se mueve a la siguiente estación de trabajo para que se comience el trabajo en ese lote. Un lote de transferencia puede ser igual a un lote de procesos, pero no debe ser mayor en un sistema bien diseñado. Esto solo ocurre si se retiene completo un lote de procesos hasta que se procese el segundo lote. Si este tiempo posterior es aceptable al comienzo, entonces los dos trabajos deben combinarse y procesarse juntos más tarde.

La ventaja de usar lotes de transferencia más pequeños que los de procesos es que el tiempo total de producción es más breve, de modo que es menor el volumen de trabajos sin terminar. En la ilustración 20.13 se muestra una situación en la que el tiempo de entrega total de la producción se redujo de 2 100 a 1 310 minutos mediante 1) un lote de transferencia de 100 en lugar de 1 000 y 2) reducción de los lotes de procesos de la operación 2.

Cómo determinar el tamaño de los lotes de procesos y de transferencia La lógica dictaría analizar el efecto del programa maestro de producción (como quiera que se haya elaborado) en los centros de trabajo. En un sistema de MRP, esto significa que el programa maestro de producción debe ejecutarse a través de la MRP y el programa de PNC (planificación de las necesidades de capacidad) para generar una carga detallada por cada centro. Srikanth afirma que a partir de su experiencia, hay demasiados errores en la base de datos de manufactura para lograr esto.[2] Propone aplicar el procedimiento alterno de primero identificar los probables RRC y cuellos de botella. Solo debe haber uno (o muy pocos), y los gerentes deben revisarlos para que entiendan qué recursos son los que controlan la planta. Estos recursos marcan el ritmo.

Más que tratar de ajustar el programa maestro de producción para modificar las cargas de recursos, es más práctico controlar el tránsito en todos los cuellos de botella o RRC para armonizar las capacidades. Se cambia el tamaño de los lotes de procesos y transferencias después de comparar el desempeño anterior respecto del cumplimiento de los plazos.

ILUSTRACIÓN 20.13 Efecto de cambiar el tamaño del lote de procesos sobre el tiempo de espera de producción en un pedido de trabajo de 1 000 unidades.



Operación	Lote de procesos	Lote de transferencia
1	1 000	1 000
2	1 000	1 000
3	1 000	1000

Operación	Lote de procesos	Lote de transferencia
1	1 000	100
2	300, 300, 200, 200	100
3	1 000	100

[2] M. L. Srikanth, *The Drum-Buffer-Rope System of Material Control*, New Haven, Connecticut, Spectrum Publishing, 1987, pp. 25-37.

Los lotes de transferencia menores generan un inventario más parco de trabajos sin terminar, pero un tránsito más acelerado de los productos (y, por consiguiente, menores tiempos de entrega). Sin embargo, se requiere más manejo de materiales. Los lotes de transferencia más grandes generan tiempos de entrega más extensos y más inventarios, pero hay menos manejo de materiales. Por tanto, el lote de transferencia está determinado por un equilibrio de compromiso entre los tiempos de entrega de la producción, los beneficios de la reducción de inventarios y los costos de mover el material.

Cuando se trata de controlar el tránsito en RRC y cuellos de botella hay cuatro situaciones posibles:

1. Un cuello de botella (sin tiempo ocioso) sin tiempo de preparación necesario cuando se pasa de un producto a otro.
2. Un cuello de botella que necesita tiempo de preparación para pasar de un producto a otro.
3. Un recurso restringido por la capacidad (RRC con poco tiempo ocioso) sin tiempo de preparación necesario cuando se pasa de un producto a otro.
4. Un RRC que necesita tiempo de preparación para pasar de un producto a otro.

En el primer caso (un cuello de botella sin tiempo de preparación para cambiar productos), los trabajos deben procesarse en el orden del programa para entregarlos a tiempo. Sin tiempo de preparación, lo único que importa es la secuencia. En el segundo caso, cuando se requiere preparación, los lotes más grandes combinan trabajos semejantes en la secuencia. Esto significa adelantar periodos, de modo que algunos trabajos se hacen antes. Como es un recurso de cuello de botella, los lotes más grandes ahorran tiempo de preparación y se incrementa la producción (el tiempo de preparación ahorrado se dedica al procesamiento). Los lotes de proceso más grandes pueden demorar los trabajos programados primero. Por tanto, se necesitan lotes de transferencia pequeños y frecuentes para acortar los tiempos de entrega.

Las situaciones 3 y 4 comprenden un RRC sin y con necesidades de tiempo de preparación. Manejar el RRC sería como manejar un canal despejado, aunque con más cuidado. Es decir, un RRC tiene un poco de tiempo ocioso. Aquí sería apropiado reducir el tamaño de algunos lotes de procesos para que haya cambios más frecuentes de los productos. Esto disminuiría el tiempo de entrega y aumentaría las probabilidades de terminar a tiempo los trabajos. En una situación en que las manufacturas pasan al inventario, reducir el tamaño de los lotes de procesos tiene un efecto mucho más profundo que aumentar el número de lotes de transferencia, porque la mezcla de productos es mucho mayor y genera reducciones de WIP y tiempos de espera en la producción.

Cómo tratar el inventario

La noción tradicional del inventario es que su único efecto negativo en el desempeño de la empresa es el costo de mantenerlo. Ahora se sabe que el efecto negativo del inventario proviene también de que se acrecientan los tiempos de entrega y se generan problemas con los cambios de ingeniería (cuando se hace un cambio de ingeniería, lo que ocurre con frecuencia, hay que modificar los productos que siguen en el sistema de producción para que incluyan dicho cambio; por consiguiente, menos trabajos sin terminar reducen el número de cambios de ingeniería que hay que hacer).

Desde la perspectiva de la administración de restricciones, el inventario como un préstamo concedido a la unidad de manufactura. El valor del préstamo se basa solo en los artículos comprados que forman parte del inventario. Como ya se mencionó, en este capítulo se trata el inventario solo como costos de material, sin ningún valor contable agregado en la producción. Si el inventario se lleva como un préstamo a manufactura, se tiene una manera de medir cuánto se extiende el préstamo. Una medida es: días dinero.

Días dinero Una medición útil del desempeño es el concepto de *días dinero*, medida del valor del inventario y el tiempo que queda en un espacio. Para usar esta medida, basta multiplicar el valor total del inventario por el número de días que pasa en determinado departamento.

Suponga que el departamento X lleva un inventario promedio de $40 000 y que, en promedio, dicho inventario se queda cinco días en el departamento. En días dinero, el departamento X paga $40 000 por cinco días, es decir, 200 000 días dinero de inventario. En este punto no se

Innovación

Administración de proyectos de cadena crítica

Administración de proyectos de cadena crítica es el nombre del método que creó Eli Goldratt para programar y manejar proyectos. El método recurre a muchas ideas propias de los procesos de manufactura. En el capítulo 10 se cubrió el método convencional de la ruta crítica. Goldratt va más allá de esas ideas porque considera las restricciones de los recursos y los tiempos de reserva especiales de un proyecto. A continuación se anotan ideas concretas del método de administración de proyectos de cadena crítica:

1. Los programas se preparan por nivel, basados en las limitaciones (restricciones) de los recursos que se tienen. Esto produce la "cadena crítica", el mayor conjunto de actividades en secuencia (debida a la dependencia de las actividades y a las restricciones de los recursos) que dicta la menor duración general del proyecto.
2. Las reservas de tiempo se insertan en lugares estratégicos del plan (al final de la cadena crítica y en todo punto en que una actividad concierna a la cadena crítica) para absorber los perjuicios de la incertidumbre sin perjudicar el desempeño. Para establecer estas reservas, parte del tiempo perdido de las actividades se traslada a estas ubicaciones estratégicas.
3. Los proyectos se "concatenan" o articulan según la disponibilidad de los recursos para combatir el efecto en cascada de compartir recursos entre proyectos y crear planes viables de varios proyectos.
4. Con la administración de las reservas se fijan dinámicamente las prioridades de las tareas en ejecución. Como las incertidumbres modifican el plan original, se asignan prioridades a las tareas de acuerdo con el ritmo de consumo de las reservas (el monto de reservas consumidas en comparación con el porcentaje de trabajo completado). Las tareas con penetración crítica de reservas van primero que las de ritmo de consumo menor.

Hay más información sobre la administración de proyectos de cadena crítica en http://www.tocc.com

podría decir si los $200 000 son mucho o poco, pero sí se indica dónde se localiza el inventario. La administración ve dónde debe enfocar su atención y determinar los niveles aceptables. Así, se establecen técnicas para tratar de reducir el número de días dinero, teniendo el cuidado de que esta medida no se convierta en un objetivo local (es decir, reducir los días dinero) y perjudique los objetivos generales (como aumentar el rendimiento sobre la inversión, la liquidez y las utilidades netas).

Los días dinero tienen varios beneficios. Considere la práctica actual de tomar las eficiencias o la utilización de la maquinaria como medición de desempeño. Para que haya un mejor aprovechamiento se guardan volúmenes grandes de inventario de modo que todo se mantenga en funcionamiento. Sin embargo, los inventarios más cuantiosos acrecientan el número de días dinero, lo que desalienta el tener niveles mayores de trabajos sin terminar. Las mediciones de días dinero también pueden aplicarse en otros ámbitos:

- Marketing: para desalentar la retención de inventarios grandes de bienes terminados. El resultado neto favorecería la venta de productos terminados.
- Compras: para desalentar los pedidos grandes de adquisiciones que dan la impresión de que aprovechan descuentos por volumen. Esto favorecería las compras justo a tiempo.
- Manufactura: para desalentar el exceso de trabajos sin terminar y producir antes de lo necesario. Con esto se fomentaría el tránsito rápido del material por la planta.
- Administración de proyectos: para cuantificar las inversiones de recursos limitados en un proyecto en función del tiempo. Esto promueve la asignación correcta de recursos a proyectos en competencia. En el recuadro Innovación "Administración de proyectos de cadena crítica" se presentan las ideas de Goldratt para programar proyectos.

Comparación de manufactura sincronizada con MRP y JIT

La MRP aplica una *programación inversa* después de aportar a un programa maestro de producción. La MRP programa la producción mediante un aumento geométrico de la nomenclatura

de materiales y en sentido inverso, es decir, desde la fecha de terminación deseada hacia atrás. Como procedimiento secundario, la MRP, gracias a su módulo de planificación de recursos de capacidad, desarrolla perfiles de aprovechamiento de capacidad de los centros de trabajo. Cuando los centros de trabajo tienen una carga excesiva hay que ajustar el programa maestro de producción o bien hay que dejar sin programar suficiente capacidad subutilizada en el sistema para que el trabajo se distribuya en el nivel local (a cargo de los supervisores del centro de trabajo o de los mismos trabajadores). Tratar de uniformar la capacidad mediante la MRP es tan difícil y requiere tantas ejecuciones de cómputo que es mejor decidir localmente (como en los centros de máquinas) los excesos y faltas de capacidad. Un programa de MRP queda obsoleto a solo unos cuantos días de haber sido creado.

El método de la manufactura sincronizada aplica una *programación progresiva* porque se enfoca en los recursos cruciales, que se programan con antelación, para que las cargas que se les impongan no superen su capacidad. Estos recursos no críticos (o de canal despejado) se programan a continuación para que apoyen a los recursos críticos (esto se hace en forma inversa para reducir al mínimo el tiempo que se retiene el inventario). Este procedimiento asegura un programa viable. Para reducir el tiempo de espera y los trabajos sin terminar, en la manufactura sincronizada varía el tamaño de los lotes de procesos y de transferencia, procedimiento que no puede hacer la MRP.

Si se compara el JIT con la manufactura sincronizada, el JIT es muy buen esfuerzo para reducir los tiempos de entrega y los trabajos sin terminar, pero tiene varios inconvenientes:

1. El JIT se limita a la manufactura repetitiva.
2. Requiere un nivel estable de producción (por lo regular de alrededor de un mes).
3. No permite mucha flexibilidad con los productos elaborados (los productos deben ser semejantes y hay pocas opciones).
4. Aún requiere trabajos sin terminar cuando se usa con kanban para que haya “algo que hacer”. Esto significa que los trabajos terminados deben almacenarse del lado de salida de cada estación de trabajo para que los tomen las estaciones siguientes.
5. Los proveedores tienen que estar ubicados cerca, porque el sistema depende de que se hagan entregas menores y más frecuentes.

Como la manufactura sincronizada asigna el trabajo a cada estación de trabajo mediante un programa, no se requiere más trabajo sin terminar aparte del que esté en proceso. La excepción es el inventario colocado específicamente frente a un cuello de botella para garantizar la continuidad del trabajo o en puntos específicos después de un cuello de botella para garantizar el tránsito constante de productos.

En lo que se refiere a las mejoras continuas del sistema, el JIT es un procedimiento de ensayo y error aplicado a un sistema real. En una manufactura sincronizada, el sistema se programa y simula en una computadora porque los programas son realistas (pueden lograrse) y el tiempo de las ejecuciones de cómputo es breve.

Relación con otras áreas funcionales

El sistema de producción debe trabajar muy cerca de otras áreas funcionales para establecer el mejor sistema operativo. En esta sección se comentan brevemente las áreas de contabilidad y marketing, donde pueden ocurrir conflictos y debe haber cooperación y planificación conjunta.

INFLUENCIA DE LA CONTABILIDAD

A veces la gente se ve orillada a tomar decisiones que concuerden con el sistema de medición en lugar de perseguir las metas de la empresa. Considere el ejemplo siguiente: suponga que ahora se elabora un producto con dos máquinas antiguas. El tiempo de procesamiento de cada una es de 20 minutos por pieza y, como cada una tiene una capacidad de tres piezas por hora, su capacidad conjunta es de seis piezas por hora, que cubre exactamente la demanda del mercado de seis piezas por hora. Suponga que ingeniería encuentra una nueva máquina que produce las

piezas en 12 minutos en lugar de 20: la capacidad de la máquina es de cinco piezas por hora, lo que no satisface la demanda. La lógica dictaría que el supervisor asignara una máquina antigua para hacer la unidad que falta por hora, pero el sistema no lo permite, pues la norma se cambió de 20 a 12 minutos por pieza y el desempeño se vería muy mal en el papel, con una variación de 67% [(20 − 12)/12] para las unidades hechas en las máquinas antiguas. Por tanto, el supervisor usaría la máquina nueva con tiempo extra.

Problemas de medición en la contabilidad de costos La contabilidad de costos se usa para medición de desempeño, determinación de costos, justificación de inversiones y avalúos de inventario. Para las evaluaciones se usan dos tipos de medidas de desempeño: 1) medidas generales, que son estados financieros que indican utilidades netas, rendimiento sobre la inversión y flujos de efectivo (con los que los autores están de acuerdo), y 2) medidas de contabilidad de costos locales, que muestran las eficiencias (como variaciones del estándar) o la tasa de utilización (horas trabajadas/horas presente).

Así, desde el punto de vista de la contabilidad de costos (medición local), el desempeño se basa por tradición en los costos y la utilización plena. Esta lógica obliga a los supervisores a tener activos a sus trabajadores todo el tiempo, lo que produce un exceso de inventario. El sistema de medición de la contabilidad de costos también causa otros problemas. Por ejemplo, tratar de aprovechar el tiempo ocioso para aumentar la utilización puede crear un cuello de botella, como ya se mencionó. Todo sistema de medición debe apoyar los objetivos de la empresa, no obstaculizarlos. Por fortuna, la doctrina de la medición de la contabilidad de costos está cambiando.

Marketing y producción

Marketing y producción deben comunicarse y realizar sus actividades en armonía; pero en la práctica se conducen de manera muy independiente, para lo cual hay muchos motivos. Las dificultades van de diferencias de personalidades y culturas a sistemas distintos de méritos y recompensas en las dos funciones. A la gente de marketing se le evalúa según el crecimiento de la compañía en cuanto a ventas, participación de mercado e introducción de nuevos productos. Marketing tiene una orientación de ventas. A la gente de manufactura se le evalúa según los costos y la utilización. Por tanto, marketing quiere una buena variedad de productos para acrecentar la posición de la compañía, mientras que manufactura trata de reducir los costos.

Los datos para evaluar marketing y manufactura son también muy diferentes. Los datos de marketing son "blandos" (cualitativos); los de manufactura son "duros" (cuantitativos). La orientación y experiencias de los empleados de marketing y producción también difieren. Es más probable que los gerentes de marketing hayan ascendido de ventas y tengan una asociación estrecha con los clientes. Los gerentes de manufactura pasaron más bien por las operaciones de producción y, por consiguiente, su principal objetivo es el desempeño de la planta.

Las diferencias culturales también son importantes al comparar al personal de marketing y manufactura. La gente de marketing tiene mayor impulso personal y son más sociables; la de manufactura es más meticulosa y quizá más introvertida (o por lo menos no tan extrovertida como sus compañeros de marketing).

La solución para enfrentar estas diferencias es elaborar un conjunto equitativo de medidas para evaluar el desempeño en cada área y promover sólidas líneas de comunicación para que las dos contribuyan a alcanzar las metas de la empresa.

Ahora se darán dos ejemplos para demostrar que las diferencias de objetivos y criterios de medición pueden llevar a las decisiones equivocadas. Estos ejemplos muestran también que, aunque se tengan todos los datos necesarios, de todos modos no se va a resolver el problema si no se sabe cómo.

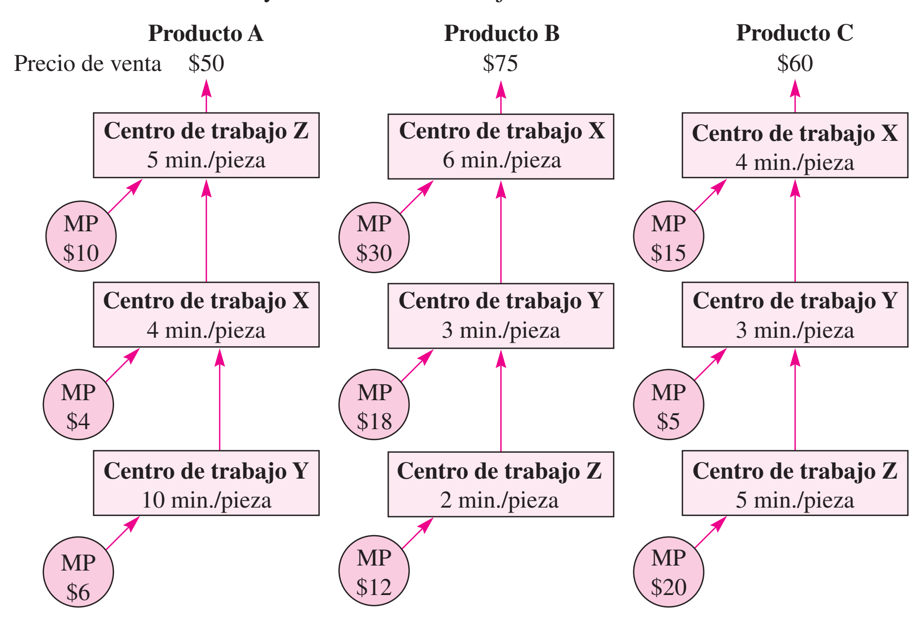
EJEMPLO 20.1: ¿Qué producir?

Paso por paso

En este primer ejemplo, tres productos (A, B y C) se venden en el mercado a \$50, \$75 y \$60 por unidad, respectivamente. El mercado comprará todo lo que se pueda suministrar.

Tres centros de trabajo (X, Y y Z) procesan los tres productos como se muestra en la ilustración 20.14. También se muestran los tiempos de procesamiento de cada centro. Observe que cada centro trabaja con

ILUSTRACIÓN 20.14 Precios y necesidades de producción de tres productos y tres centros de trabajo.



MP = Materias primas, componentes y piezas agregadas
Sólo hay un centro X, un Y y un Z.

los tres productos. Materias primas, piezas y componentes se agregan a cada centro para elaborar los productos. El costo unitario de estos materiales se muestra como MP.

¿Qué producto o productos hay que fabricar?

Solución

Puede haber tres objetivos que lleven a conclusiones diferentes:

1. Maximizar los ingresos por ventas porque las comisiones del personal de marketing se basan en los ingresos totales.
2. Maximizar las utilidades brutas unitarias.
3. Maximizar las utilidades brutas totales.

En este ejemplo se toma la utilidad bruta como el precio de venta menos materiales. También se pueden incluir otros gastos, como los operativos, pero se dejan de lado por simplicidad (en el siguiente ejemplo se incluyen los gastos operativos).

Objetivo 1: Maximizar las comisiones por ventas. En este caso, el personal de ventas no está enterado del tiempo de procesamiento requerido, así que tratan de vender solo B a $75 por unidad y nada de A o C. Los ingresos máximos están determinados por el recurso limitante como sigue:

Producto	Recurso limitante	Tiempo requerido	Cantidad producida por hora	Precio de venta	Ingresos por ventas por hora
A	Y	10 minutos	6	$50	$300
B	X	6 minutos	10	75	750
C	Z	5 minutos	12	60	720

Objetivo 2: Maximizar las utilidades brutas por unidad.

(1) Producto	(2) Precio de venta	(3) Costo de materias primas	(4) Utilidad bruta por unidad (2) – (3)
A	$50	$20	$30
B	$75	$60	$15
C	$60	$40	$20

La decisión sería vender solo el producto A, que tiene una utilidad bruta unitaria de $30.

Objetivo 3: Maximizar las utilidades brutas totales. Para resolver este problema se calcula la utilidad bruta total del periodo o la tasa con la que se generan utilidades. Aquí se toma la tasa para resolver el problema tanto porque es más fácil cuanto porque es una medida más apropiada. Se toma la utilidad por hora como la tasa.

Observe que cada producto tiene un centro de trabajo diferente que limita su producción. Entonces, la tasa con la que se hace el producto se basa en el centro de trabajo que forma el cuello de botella.

(1) Producto	(2) Precio de venta	(3) Tiempo de procesamiento por unidad (minutos)	(4) Tasa de producción (por hora)	(5) Precio de venta	(6) Costo de materias primas	(7) Utilidades por unidad	(8) Utilidades por hora (4) × (7)
A	Y	10	6	$50	$20	$30	$180
B	X	6	10	75	60	15	150
C	Z	5	12	60	40	20	240

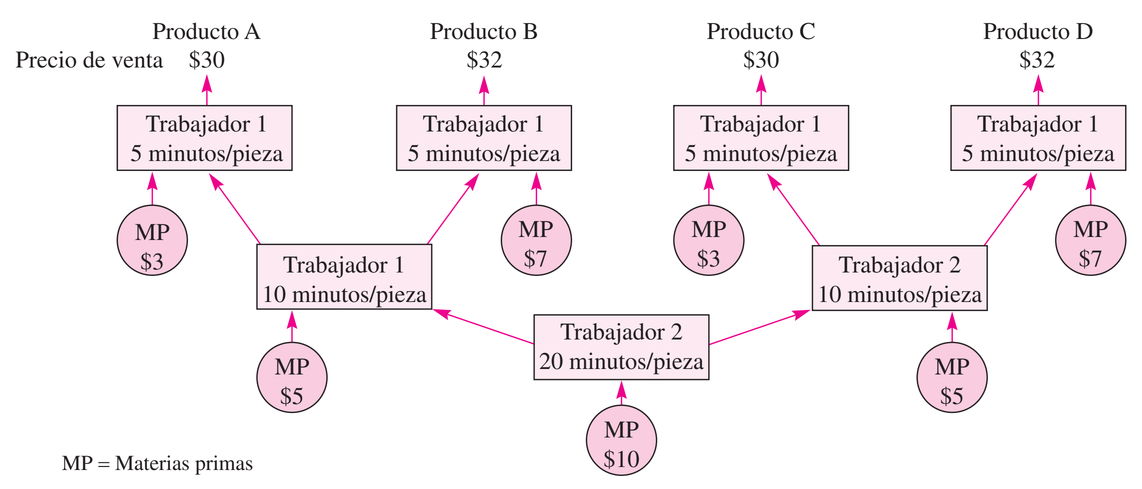
A partir de los cálculos, y si solo se considera un producto, el C proporciona las mayores utilidades, de $240 por hora. Observe que se tienen tres respuestas diferentes.

1. Se escoge B para maximizar los ingresos por ventas.
2. Se escoge A para maximizar las utilidades por unidad.
3. Se escoge C para maximizar las utilidades totales.

Como es obvio, la respuesta correcta para la empresa es elegir el producto C. Las utilidades mejoran a $280/hora si producimos una mezcla de A-3, B-2 y C-8 unidades por hora. Esta solución se obtiene al resolver el problema de "mezcla de productos" descrito en el Apéndice A (vea el ejemplo A.1).

En este ejemplo se necesitaron todos los centros de trabajo para cada producto y cada producto tuvo un centro de trabajo distinto como limitante. Se hizo así para simplificar el problema y garantizar que solo surgiera un producto como respuesta. De haber habido más centros de trabajo o un mismo centro de trabajo como limitante en distintos productos, de todos modos se pudo haber resuelto el problema mediante programación lineal (como en el apéndice A). ●

ILUSTRACIÓN 20.15 Necesidades de producción y precio de venta de cuatro productos.



Producto	Precio de venta	Tiempo de procesamiento por unidad: Trabajador 1	Trabajador 2	Costo de materias primas por unidad
A	$30 (cada uno)	15 min	20 min	$18
B	32	15	20	22
C	30	5	30	18
D	32	5	30	22

En cada turno operan un trabajador 1 y un trabajador 2. Tres turnos. Cinco días por semana.
Ocho horas por turno. Gastos de operación = $3 000 semanales.

Paso por paso

EJEMPLO 20.2: ¿Cuánto producir?

En este ejemplo, indicado en la ilustración 20.15, dos trabajadores elaboran cuatro productos. La planta opera en tres turnos. La demanda del mercado es ilimitada y acepta todos los productos que puedan elaborar los trabajadores. La única estipulación es que la proporción de productos vendidos no exceda de 10 a 1 entre el máximo vendido de cualquier producto y el mínimo vendido de otro. Por ejemplo, si el máximo número vendido de un producto es 100 unidades, el mínimo de otro no puede ser de menos de 10 unidades. Los trabajadores 1 y 2, en cada turno, no tienen una capacitación multidisciplinaria y solo se ocupan de sus propias operaciones. En la ilustración se muestran el tiempo y los costos de materias primas (MP); en la parte inferior de la misma ilustración se da un resumen de los costos y tiempos correspondientes. Los gastos semanales de la operación son de $3 000.

¿Qué cantidades de A, B, C y D deben producirse?

Solución

Como en el ejemplo anterior, hay tres respuestas según los siguientes objetivos:

1. Maximizar los ingresos del personal de ventas, que ganan por comisión.
2. Maximizar las utilidades brutas por unidad.
3. Maximizar la utilización del recurso cuello de botella (para alcanzar las mayores utilidades brutas).

Objetivo 1: Maximizar las comisiones e ingresos por ventas. El personal de ventas prefiere vender B y D (precio de venta de $32) que A y C (precio de venta de $30). Los gastos operativos semanales son de $3 000.

La proporción de unidades vendidas será 1A : 10B : 1C : 10D.

El trabajador 2 de cada turno es el cuello de botella y, por tanto, determina la producción. Observe que si es un verdadero cuello de botella con una demanda de mercado ilimitada, debe ser una operación de siete días por semana, no solo cinco.

5 días por semana × 3 turnos × 8 horas × 60 minutos = 7 200 minutos por semana disponibles

El trabajador 2 dedica estos tiempos a cada unidad:

A 20 minutos B 20 minutos C 30 minutos D 30 minutos

La proporción de las unidades de producción es de 1 : 10 : 1 : 10. Por tanto,

$$1x(20) + 10x(20) + 1x(30) + 10x(30) = 7\,200$$
$$550x = 7\,200$$
$$x = 13.09$$

Por tanto, las unidades producidas son

A = 13 B = 131 C = 13 D = 131

El ingreso total es

13(30) + 131(32) + 13(30) + 131(32) = $9 164 por semana

Para comparación con los objetivos 2 y 3, se va a calcular la utilidad bruta por semana.

La utilidad bruta por semana (precio de venta menos materias primas menos gastos semanales) es de

$$13(30 - 18) + 131(32 - 22) + 13(30 - 18) + 131(32 - 22) - 3\,000$$
$$= 156 + 1\,310 + 156 + 1\,310 - 3\,000$$
$$= (\$68) \text{ pérdida.}$$

Objetivo 2: Maximizar las utilidades brutas por unidad.

	Utilidad bruta	=	Precio de venta	–	Costo de materias primas
A	12	=	30	–	18
B	10	=	32	–	22
C	12	=	30	–	18
D	10	=	32	–	22

A y C tienen las mayores utilidades brutas, así que la proporción será 10 : 1 : 10 : 1 para A, B, C y D. El trabajador 2 es la limitante y tiene

5 días × 3 turnos × 8 horas × 60 minutos = 7 200 minutos disponibles por semana

Como antes, A y B tardan 20 minutos, mientras que C y D tardan 30 minutos. Así,

$$10x(20) + 1x(20) + 10x(30) + 1x(30) = 7\,200$$
$$550x = 7\,200$$
$$x = 13$$

Por tanto, el número de unidades producidas es

A = 131 B = 13 C = 131 D = 13

La utilidad bruta (precio de venta menos materias primas menos gasto semanal de $3 000) es

131(30 − 18) + 13(32 − 22) + 131(30 − 18) + 13(32 − 22) − 3 000
= 1 572 + 130 + 1 572 + 130 − 3 000
= $404 utilidades

Objetivo 3: Maximizar el uso del recurso cuello de botella, el trabajador 2. Por cada hora de labores del trabajador 2 se tienen los siguientes números de productos y utilidades brutas:

(1) Producto	(2) Tiempo de producción	(3) Unidades producidas por hora	(4) Precio de venta por unidad	(5) Costo de materias primas por unidad	(6) Utilidades brutas por hora (3) × [(4) − (5)]
A	20 minutos	3	$30	$18	$36
B	20	3	32	22	30
C	30	2	30	18	24
D	30	2	32	22	20

El producto A genera las mayores utilidades brutas por hora del tiempo del trabajador 2, así que la proporción es 10 : 1 : 1 : 1 para A, B, C y D.

El tiempo disponible del trabajador 2 es el mismo que antes:

3 turnos × 5 días × 8 horas × 60 minutos = 7 200 minutos

El trabajador 2 debe producir 10 A por 1 B, 1 C y 1 D. La tasa promedio de producción del trabajador 2 es

$$10x(20) + 1x(20) + 1x(30) + 1x(30) = 7\,200$$
$$280x = 7\,200$$
$$x = 25.7$$

Por tanto, el número de unidades que deben producirse es

A = 257 B = 25.7 C = 25.7 D = 25.7

Las utilidades brutas (precio menos materias primas menos $3 000 de gastos semanales) son

257(30 − 18) + 25.7(32 − 22) + 25.7(30 − 18) + 25.7(32 − 22) − 3 000
= 3 084 + 257 + 308.4 + 257 − 3 000
= $906.40

En resumen, con los tres objetivos para decidir cuánto hacer de cada producto, se tienen tres resultados:

1. Maximizar las comisiones de ventas da por resultado una pérdida de $68 en utilidades brutas.
2. Maximizar las utilidades brutas da una utilidad de $404.
3. Maximizar el uso del trabajador restringido por la capacidad da las mejores utilidades brutas: $906.40. ●

Ambos ejemplos demuestran que producción y marketing tienen que interactuar. Marketing debe vender el uso más redituable de la capacidad disponible. Sin embargo, para planificar la capacidad, marketing tiene que decir a producción qué productos se pueden vender.

Paso por paso

EJEMPLO 20.3: TOC aplicada al trámite de solicitudes de préstamos bancarios[3]

En este ejemplo se aplican los cinco pasos del enfoque de la teoría de las restricciones de Goldratt (vea la ilustración 20.2) para retirar los cuellos de botella de la tramitación de solicitudes de préstamo bancario. Como se ve por el ejemplo, las ideas son aplicables a todo tipo de solicitudes, inclusive procesos de servicios.

Paso 1: *Identificar la restricción del sistema.* Suponga que el banco es una institución del sector privado y que su meta es ganar más dinero ahora y en el futuro. Además, suponga que la restricción inicial es interna, a saber, que los empleados que tramitan los préstamos son incapaces de cumplir a tiempo con todas sus responsabilidades. Es decir, con la demanda actual de trámites de solicitud de préstamos, los empleados no pueden realizar todos los pasos del proceso de aprobación de una manera ágil que los clientes consideren satisfactoria.

Paso 2: *Decidir cómo explotar la restricción del sistema.* Cuando se identifica una restricción, la administración debe maximizar el uso de la capacidad de dicha restricción para alcanzar la meta del sistema. Al calcular el rendimiento por unidad de tiempo en el recurso restringido, la administración tiene la información necesaria para establecer las prioridades del trabajo realizado en la restricción. Por ejemplo, el gerente del departamento de préstamos puede medir el rendimiento de cada hora de trabajo en cada tipo de solicitud de préstamo, como hipotecario, para automóvil y para microempresas. La secuencia de los préstamos procesados en la restricción se establecería de acuerdo con la "rentabilidad" de los tipos de préstamos de modo que la meta del banco se alcance de manera expedita. Un enfoque optativo a la explotación que complementa el establecimiento de prioridades es asegurar que la restricción siempre se utilice con eficacia. Así, sería posible volver a diseñar el proceso de aprobación de préstamos de modo que la sobrecarga de algunos empleados se pase a personal disponible que en el momento solo se utilice en parte.

Paso 3: *Subordinarlo todo a las decisiones precedentes.* La subordinación consiste en alinear los recursos que no son restrictivos para que sostengan la maximización del desempeño del recurso restringido. En este caso, a la gerencia del banco le conviene programar las citas de los posibles clientes que quieren realizar sus solicitudes con los agentes de manera que siempre haya una sucesión abundante de solicitudes llenas a la espera de que las tramiten los empleados. Además, el gerente de la tramitación de solicitudes del banco controlaría la entrega de solicitudes para el trámite de aprobación, de modo que los empleados no quedaran abrumados. Por último, el banco pondría a un oficinista que no estuviera totalmente ocupado a revisar que las solicitudes estuvieran completas y que satisficieran las normas de calidad de procesos antes de entregarlas a los empleados (tome nota de que tener un suministro disponible de solicitudes terminadas aseguró un uso muy productivo del tiempo de los empleados; este esquema de subordinación solo produciría un aumento pequeño del producto. Llevaría el banco hacia su meta; la restricción aún estaría entre los empleados que tramitan los préstamos).

Paso 4: *Elevar la restricción.* Elevar el recurso limitante significa agregar suficiente capacidad nueva de modo que la restricción actual ya no limite la producción del sistema. A diferencia de los dos pasos anteriores, la elevación con frecuencia requiere un desembolso monetario o una inversión en nuevos recursos o capacidades. En el ejemplo del subsistema de préstamos, pese a que se supone que aumenta la productividad de los empleados de préstamos por los pasos 2 y 3, la restricción del sistema permanece en estos empleados. Así, como estas mejoras fueron insuficientes para fracturar la restricción, es necesario abordar directamente el factor restrictivo. El paso obvio es contratar a otro empleado de préstamos. Esta medida eleva la restricción porque da capacidad más que suficiente para satisfacer la demanda actual de trámites de solicitudes de préstamo. Si esta decisión produjese un aumento sustancial de gastos operativos, la administración la justificaría como el mejor enfoque para cumplir su meta de tramitación, así como la meta general del banco. Esto sería verdad, sobre todo en los auges de la economía y dadas las tendencias recientes de las tasas de interés, que apuntan a un aumento de la demanda de trámites de solicitudes de préstamos en la institución.

Paso 5*: Volver al paso 1, pero no dejar que la inercia produzca una restricción en el sistema.* Después de superar la restricción original del paso 4, es necesario revisar todos los demás cambios de los pasos 2 y 3 para determinar si todavía son apropiados para una tramitación eficaz y para el desempeño del sistema. Para volver al ejemplo del préstamo, una revisión de los cambios implantados en el paso 2 mostraría que descargar las responsabilidades de armar el paquete crediticio y parte de las actividades de revisión de los créditos en oficinistas funcionó bien y no es necesario volver al procedimiento original. Respecto del paso 3, aunque el banco todavía quisiera programar agentes para que se reúnan con los clientes y los ayuden a llenar su solicitud, no sería posible tener un inventario grande de solicitudes en trámite porque la restric-

[3] Adaptado de Richard A. Reid, "Applying the TOC Five-Step Focusing Process in the Service Sector: A Banking Subsystem", *Managing Service Quality* 17, núm. 2, 2007, pp. 209-234.

ILUSTRACIÓN 20.16 Aplicación en secuencia del proceso enfocado en cinco pasos en el subsistema de préstamos de un banco.

Ubicación de la restricción	Tipo de restricción	Identificación de la restricción	Método para aligerar la restricción
Tramitación de solicitudes de préstamo en el banco	Física	Los empleados y oficinistas no pueden procesar a tiempo todas las solicitudes de préstamo de los clientes	Algunas tareas de los empleados se descargan en oficinistas y se contratan más empleados. Así se tiene capacidad suficiente para la tramitación de las solicitudes de préstamos
Mercado	De políticas	Según la política actual del banco, si un solicitante no tiene tarjeta de crédito con la institución, no tiene derecho a solicitar un préstamo de consumo	Nueva política del banco: todo solicitante debe tener cualquier tipo de cuenta activa en el banco. Así aumenta la demanda de préstamos, porque hay más probabilidades de que los clientes cumplan los requisitos
Oferta	Física	La disponibilidad de fondos es insuficiente para cubrir todas las solicitudes de crédito aprobadas	El banco negocia más fondos con prestamistas. Así, las reservas de capital son mayores de lo que demandan los clientes
Mercado	De políticas	Los mercados de préstamos están saturados en cuanto a productos crediticios actuales y sobran fondos para prestar a clientes que cumplen los requisitos	El banco crea un nuevo producto crediticio destinado a estudiantes de la universidad local. Así, aumenta la demanda total de préstamos en el mercado
Tramitación de solicitudes de préstamo en el banco	Física	Los empleados y oficinistas no pueden procesar a tiempo todas las solicitudes de préstamo de los clientes	El banco invierte en la adquisición de un nuevo paquete de software para facilitar la tramitación de solicitudes de préstamos. Así, la capacidad de tramitación excede la demanda

Fuente: Richard A. Reid, "Applying the TOC Five-Step Focusing Process in the Service Sector: A Banking Subsystem", *Managing Service Quality 17*, núm. 2, 2007, p. 223.

ción en trámite de solicitud y aprobación se desplazó al mercado. Así, es apropiado regresar al paso 1 del proceso de cinco pasos.

Extensión del proceso. En la ilustración 20.16 se muestra que la aplicación del proceso enfocado en cinco pasos se desenvolvería de manera realista en la gestión de la tramitación de solicitudes de préstamos del banco durante los siguientes dos años. Elevar la capacidad de la restricción original del trámite de aprobaciones mediante la contratación de un nuevo empleado desemboca en una nueva restricción, que esta vez se encuentra en el mercado. Suponga que la nueva restricción resulta ser una política, digamos, que la administración del banco no extiende préstamos de consumo a clientes que no usen los servicios de tarjetas de crédito del banco. Si se reconsidera esta política, se hace una excepción con un cliente que haya tenido cualquier cuenta en el banco durante el año anterior. A continuación, como no hay suficientes reservas monetarias para financiar todas las cargas aprobadas, la nueva restricción del sistema se encuentra en la oferta de capital. Para abordar la nueva restricción, suponga que el banco negocia fondos adicionales de un prestamista y ya puede otorgar más préstamos de lo que demandan los clientes. Entonces aparece una nueva restricción en el mercado, porque la reserva de fondos es mayor que la demanda del mercado. Con algún esfuerzo, el equipo de marketing del banco puede fracturar esta restricción si crea un paquete especial de servicios y productos crediticios para atender las necesidades de los estudiantes de la universidad local. Para terminar con el ejemplo, la restricción regresa a la tramitación de préstamos del banco, en el que los empleados y oficinistas ya no pueden tramitar las solicitudes con suficiente rapidez para mantener el ritmo de la demanda. La gerencia del banco compra un nuevo paquete de software diseñado para aumentar la tramitación de las solicitudes de préstamo y capacita en su uso al personal de trámites y a los oficinistas asistentes.

Resumen

El sistema de medición de una empresa debe fomentar el aumento de las ganancias netas, el rendimiento sobre la inversión y la liquidez. Una empresa lo puede lograr si, en el nivel de operaciones, recompensa el desempeño con base en la cantidad de producción, inventario y gasto operativo que se haya generado, esencial para el éxito de la empresa.

Para controlar la producción, inventario y gastos operativos, se debe analizar el sistema para encontrar los cuellos de botella y los recursos restringidos por la capacidad. Solo entonces puede definir la compañía un tambor de control, reservas para garantizar la producción y sogas para transmitir la información correcta a los sitios indicados, al tiempo que en otras partes se reduzca el trabajo sin terminar. Sin este enfoque, los problemas no se diagnostican adecuadamente y los procedimientos de solución son imposibles.

Goldratt definió nueve reglas (ilustración 20.1) que ayudan como guía para la lógica de un sistema operativo e identificar los puntos importantes, básicos para cualquier sistema operativo.

La filosofía implícita presentada en este capítulo, la importancia vital de concentrarse en las limitaciones del sistema que imponen los recursos restringidos por la capacidad, orilló a Goldratt a ampliar su perspectiva sobre la importancia de las limitaciones del sistema y desarrollar su "teoría general de restricciones" de cinco pasos.[4] (Vea la ilustración 20.2.)

Aunque los términos *cuello de botella* y *restricción* en esencia significan lo mismo, Goldratt emplea *restricción* en el sentido más amplio que se refiere a todo lo que limita el desempeño de un sistema y retarda o evita que avance hacia su objetivo.

Esta teoría general de restricciones provoca que las compañías busquen qué les impide alcanzar sus metas y la forma de resolver esta limitación. Si, en un entorno manufacturero, la limitación es la insuficiencia de capacidad, entonces la manera de romper con la restricción sería tiempo extra, herramientas especializadas, equipo de soporte, trabajadores excepcionalmente hábiles, subcontratistas, rediseño del producto o proceso, rutas alternas y así sucesivamente. El paso 5 (ilustración 20.2) advierte contra las desviaciones pensando en evitar explotar las restricciones. Por ejemplo, si se efectuó una búsqueda y explotación de una restricción en la limitación del costo, se debe asegurar de no arrastrar esta medición de costos a la siguiente búsqueda. Hay que empezar de cero en cada ocasión.

Un último comentario de este capítulo, así como del libro, es: la clave para la ventaja competitiva a través de las operaciones es que la empresa opere como un sistema sincronizado, con todas las partes trabajando en concierto. Las compañías que lo hacen eficazmente están por alcanzar la meta fundamental de la empresa: la rentabilidad.

Conceptos clave

Manufactura sincronizada Proceso de producción coordinado que trabaja armónicamente para alcanzar las metas de la empresa.

Producción Tasa con la que el sistema genera el dinero mediante las ventas (definición de Goldratt).

Inventario Dinero que el sistema invirtió para comprar cosas que pretende vender (definición de Goldratt).

Gastos operativos Dinero que el sistema gasta para convertir el inventario en producto (definición de Goldratt).

Productividad Acciones que acercan a una compañía a sus metas (definición de Goldratt).

Cuello de botella Cualquier recurso cuya capacidad sea menor a la demanda que se le aplica (definición de Goldratt).

Canal despejado Cualquier recurso cuya capacidad sea mayor a la demanda que se le aplica (definición de Goldratt).

Recurso restringido por la capacidad (RRC) Recurso cuya utilización se acerque a la capacidad y, de no programarse con cuidado, pudiera ser un cuello de botella (definición de Goldratt).

Problema resuelto

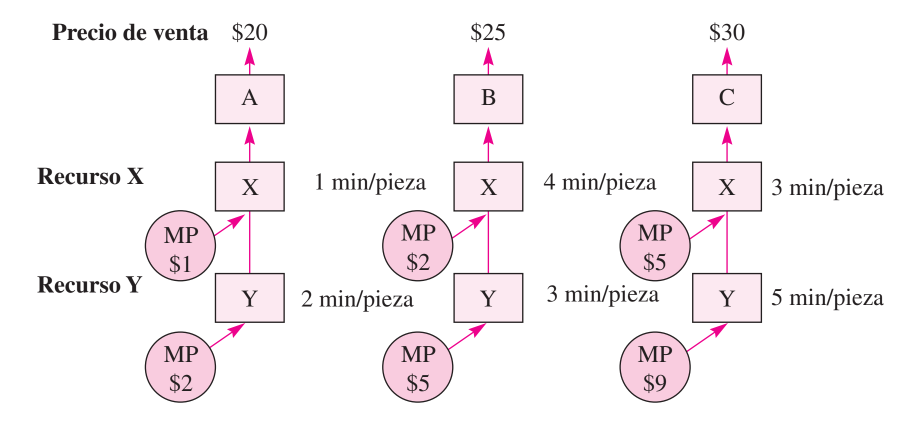
El siguiente es el flujo del proceso de los productos A, B y C, que se venden a $20, $25 y $30, respectivamente. Solo hay un recurso X y un recurso Y, utilizados para producir A, B y C en los minutos establecidos en el diagrama. Las materias primas se requieren como se indica en los pasos del proceso, cuyo costo es en dólares por unidad de materias primas (se utiliza una unidad por producto).

El mercado comprará todo lo que se produzca.

a) ¿Qué produciría para maximizar el margen bruto por unidad?
b) Si al personal de ventas se le pagara por comisión, ¿qué producto o productos venderían y cómo lo harían?

[4] E. M. Goldratt, *The General Theory of Constraints*, New Haven, Connecticut, Avraham Y. Goldratt Institute, 1989.

c) ¿Cuál y cuánto producto o productos debe fabricar para maximizar la utilidad bruta de una semana?
d) Del inciso *c*), ¿cuál sería la utilidad bruta de la semana?



Solución

a) Maximizar el margen bruto por unidad:

	Margen bruto	=	Precio de venta	–	Costo de materias primas
A	17	=	20	–	3
B	18	=	25	–	7
C	16	=	30	–	14

Se fabricará el producto B.

b) Maximizar la comisión por ventas: El personal de ventas vendería el producto de precio más alto, C (a menos que conozcan el mercado y las limitaciones de capacidad). Si se supone que el mercado se lleva todo lo producido, entonces se trabajarían siete días de la semana, ocho horas al día. El recurso Y es la restricción para producir C. La cantidad de C producida a la semana es

$$C = \frac{8 \text{ horas/día} \times 7 \text{ días/semana} \times 60 \text{ minutos/hora}}{5 \text{ minutos/pieza}}$$

$$= 672 \text{ unidades}$$

c) Para maximizar la utilidad hay que comparar las utilidades por hora de cada producto:

(1) Producto	(2) Recurso restringido	(3) Tiempo de producción en el recurso	(4) Unidades de producción por hora	(5) Precio de venta ($)	(6) Costo de MP ($)	(7) Utilidad bruta por hora (4) × (5 – 6)
A	Y	2	30	20	3	$510
B	X	4	15	25	7	270
C	Z	5	12	30	14	192

Si el recurso restrictivo fuera el mismo para los tres productos se resolvería el problema y la respuesta sería producir nada más A y cuantos sean posible. Sin embargo, X es la restricción de B, de modo que la respuesta sería una combinación de A y B. Para comprobarlo, se observa que el valor de cada hora de Y durante la producción de B es

$$\frac{60 \text{ minutos/hora}}{3 \text{ minutos/unidad}} \times (\$25 - 7) = \$360/\text{hora}$$

Es menor a los $510 por hora para producir A, de modo que solo se produciría A. La cantidad de unidades de A que se producen en la semana es

$$\frac{60 \text{ minutos/hora} \times 24 \text{ horas/día} \times 7 \text{ días/semana}}{2 \text{ minutos/unidad}} = 5\,040$$

d) La utilidad bruta de la semana es 5 040 × $17 = $85 680.
Resuelto con las utilidades por hora: $510 × 24 × 7 = $85 680.

Preguntas de repaso y análisis

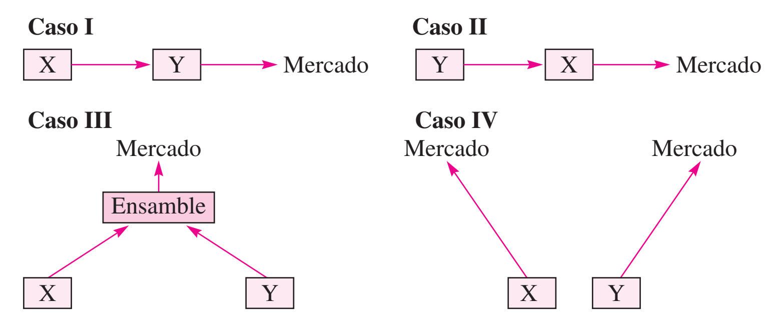
1. Establezca las mediciones del desempeño globales y operacionales, y defina brevemente cada una. ¿Cómo difieren de las mediciones de contabilidad tradicionales?
2. Analice los lotes de proceso y de transferencia. ¿Cómo determinaría los tamaños?
3. Compare JIT, MRP y manufactura sincronizada. Mencione sus principales características, como dónde se usa o podría usarse cada uno, las cantidades de materias primas e inventarios de trabajo sin terminar, tiempos guía de producción y tiempos de ciclos, así como los métodos de control.
4. Compare la importancia y relevancia de control de calidad en JIT, MRP y manufactura sincronizada.
5. Analice qué significa carga progresiva y carga inversa.
6. Defina y explique la causa o causas de un cuello de botella en movimiento.
7. Explique cómo un canal despejado se convierte en un cuello de botella.
8. ¿Cuáles son las funciones de inventario de los programas MRP, JIT y manufactura sincronizada?
9. Defina el *lote de proceso* y *lote de transferencia* y su significado en cada aplicación: MRP, JIT y lógica de cuello de botella o recurso restringido.
10. Analice cómo se programa un sistema de producción con lógica de MRP, JIT y manufactura sincronizada.
11. Analice el concepto de "tambor-reserva-soga".
12. Desde el punto de vista del proceso del programa, ¿cómo se tratan las limitaciones de recursos en una aplicación de MRP? ¿Cómo se tratan en una aplicación de manufactura sincronizada?
13. ¿Cuáles son las principales quejas del personal de operaciones sobre los procedimientos de contabilidad que usa la mayoría de las empresas? Explique cómo provoca cada procedimiento malas decisiones para toda la compañía.
14. La mayoría de las empresas manufactureras busca equilibrar la capacidad de sus secuencias de producción. Algunos consideran que no es una estrategia válida. Explique por qué no funciona la capacidad de equilibrio.
15. Analice por qué muchas veces no pueden o no deben ser iguales los lotes de transferencia y los de proceso.

Problemas

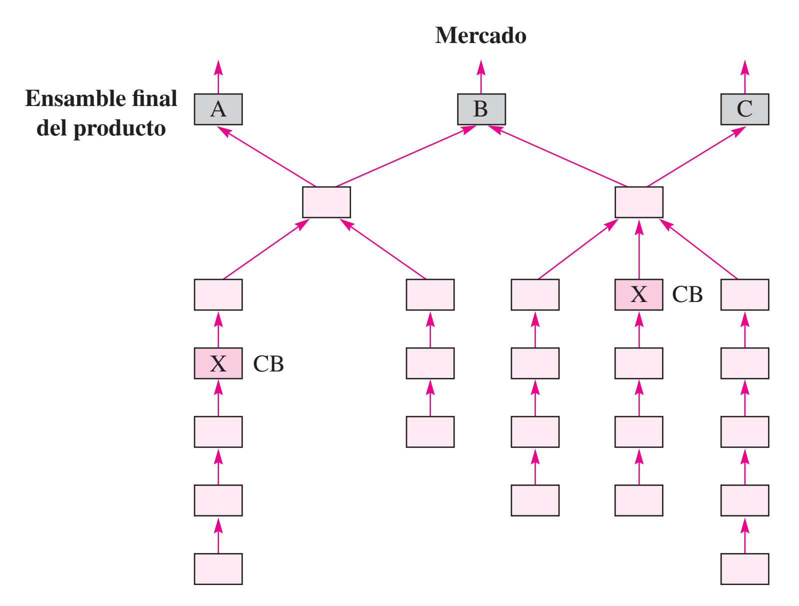
1. Para las cuatro configuraciones básicas a continuación, suponga que, en los casos I, II y III, la demanda en el mercado es un producto que debe procesarse con los recursos X y Y. En el caso IV, ambos recursos suministran mercados separados aunque dependientes; es decir, las unidades de producción de X y Y deben ser las mismas.

   Se hacen planes para fabricar un producto que requiere 40 minutos del recurso X y 30 minutos del recurso Y. Suponga que solo hay uno de cada recurso y que la demanda del mercado es de 1 400 unidades mensuales.

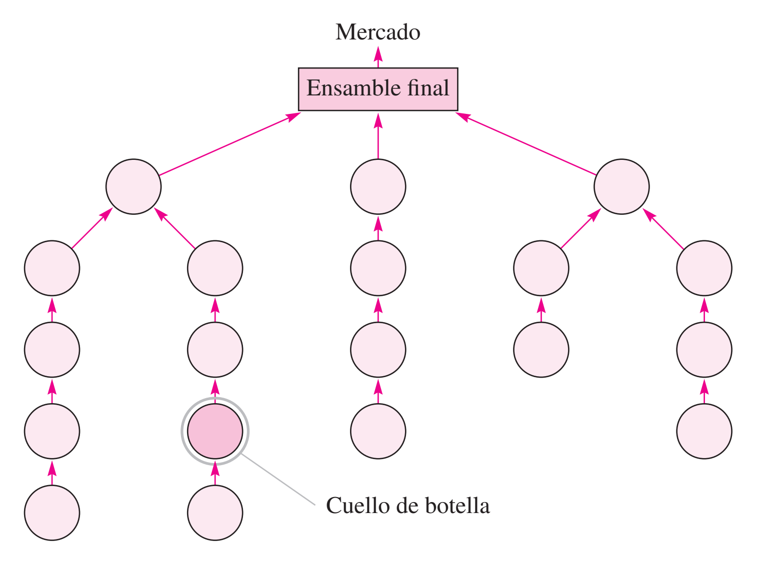
   ¿Cuántas horas de tiempo de producción programaría para X y Y? ¿Qué ocurriría si ambos se programaran durante las mismas horas?



2. En seguida se presentan las secuencias del flujo del proceso para tres productos: A, B y C. Hay dos operaciones de cuello de botella, en la primera y cuarta sucesión, marcadas con una X. Los cuadros representan los procesos, que pueden ser con máquina o manuales. Sugiera la ubicación del tambor, reserva y sogas.



3. La siguiente ilustración muestra un modelo de red de producción con las piezas y secuencias de procesamiento. Indique claramente en la ilustración 1) dónde colocaría el inventario, 2) dónde realizaría la inspección y 3) dónde haría énfasis en la producción de alta calidad. (Nota: Las operaciones pueden aparecer como rectángulos, como en el problema 2, o círculos, como en el problema 3.)



4. El siguiente flujo de producción muestra las piezas E, I y N; subensamble O, y ensamble final del producto P:

   A a B a C a D a E
   F a G a H a I
   J a K a L a M a N
   E e I a O
   N y O a P

   B implica la operación de un cuello de botella y M implica un RRC.

   a) Trace el flujo del proceso.
   b) ¿Dónde ubicaría inventarios de reserva?
   c) ¿Dónde colocaría puntos de inspección?
   d) ¿Dónde destacaría la importancia de la producción de calidad?

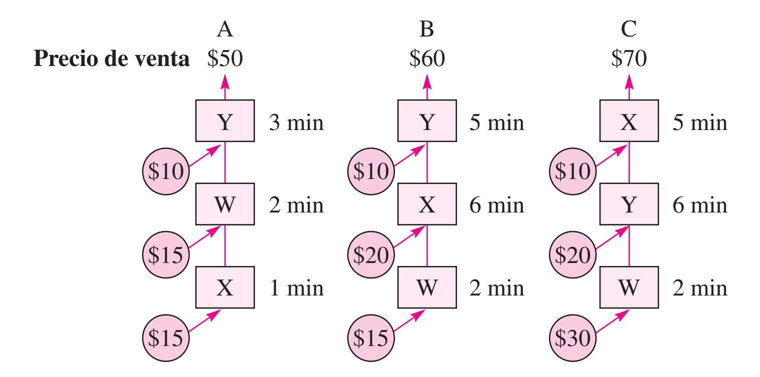
5. A continuación se presentan los tiempos de ciclo de proceso promedio de varios centros de trabajo. Indique cuáles son cuellos de botella, canales despejados y recursos restringidos por la capacidad.

Tiempo de procesamiento	Tiempo de preparación

Tiempo de procesamiento	Preparación	Ocio
Tiempo de procesamiento	Preparación	Ocio
Tiempo de procesamiento	Preparación	Ocio
Tiempo de procesamiento	Preparación	Ocio

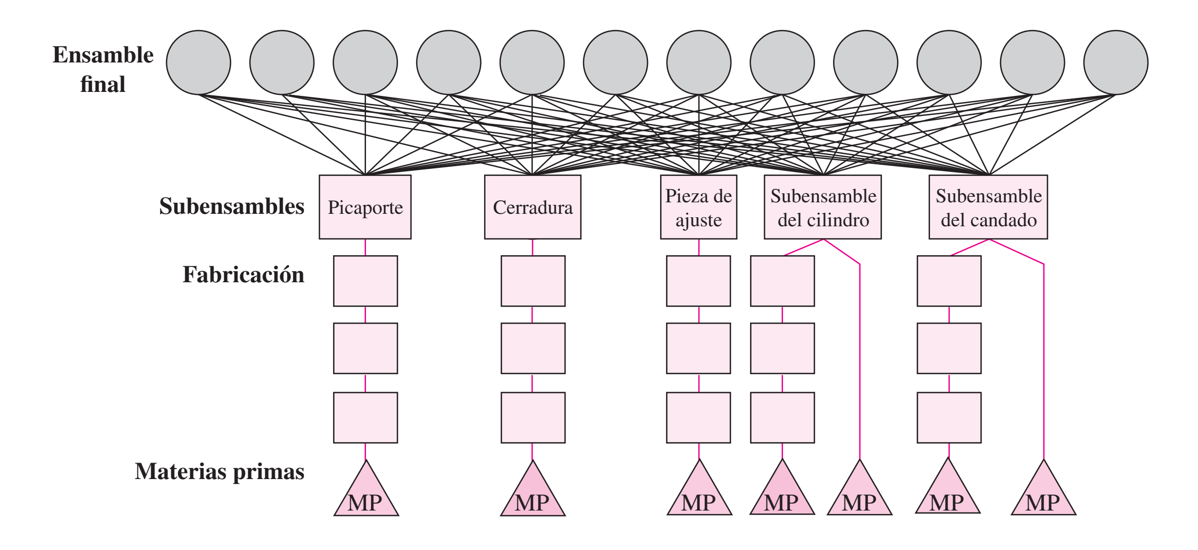
6. El siguiente diagrama muestra el proceso de flujo, costos de materias primas y tiempo de procesamiento de máquinas para tres productos: A, B y C. Para estos tres productos se utilizan tres máquinas (W, X y Y); los tiempos mostrados son los minutos de producción que se necesitan por unidad. Los costos de materias primas aparecen en el costo unitario del producto. El mercado se llevará todo lo producido.

a) Si se supone que al personal de ventas se le paga por comisión, ¿qué producto deben vender?
b) Basado en la maximización de la utilidad bruta por unidad, ¿qué producto se debe vender?
c) Para maximizar la utilidad total de la empresa, ¿qué producto se debe vender?



7. Willard Lock Company pierde participación en el mercado por sus terribles tiempos de desempeño de fecha límite y de entrega de largo plazo. El nivel de inventario de la compañía es alto e incluye muchos productos terminados que no corresponden con los pedidos de corto plazo. El análisis de control de materiales indica que las compras se pidieron a tiempo, los vendedores las entregaron a tiempo y que los índices de desechos/retrabajo ha sido el esperado. Sin embargo, la mezcla acumulable de componentes y subensambles generalmente no corresponde con las necesidades de corto plazo y vencidas en el ensamble final. La regla es el apresuramiento a fin de mes y el tiempo extra, aunque a principios de mes hay un tiempo de ocio. Las cifras en general sobre la eficiencia son de 70% al mes. Estas cifras se consideran muy bajas.

Lo acaban de contratar como asesor y debe presentar recomendaciones. Ayude a que la empresa entienda sus problemas. Específicamente, establezca algunas acciones que debe tomar. El flujo del producto se muestra en el diagrama siguiente.

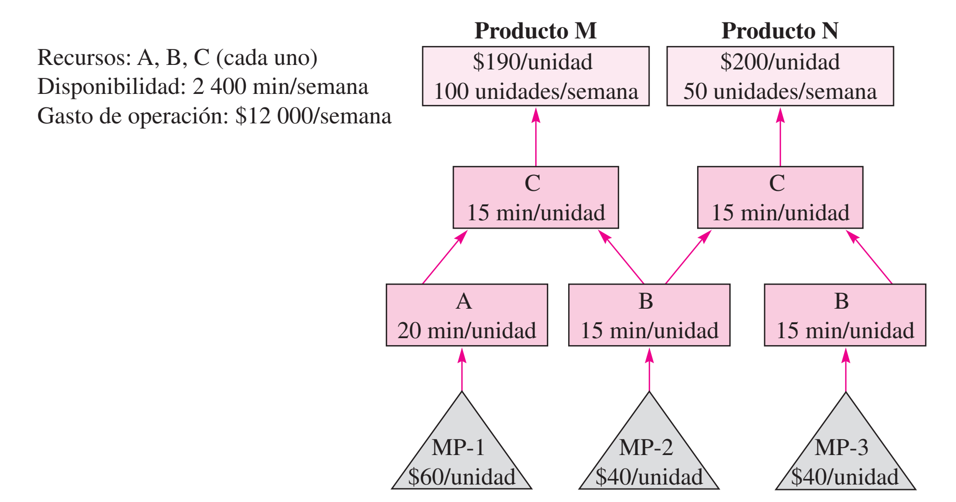


8. La planta M-N fabrica dos productos: M y N. Los precios de venta y las demandas semanales del mercado se muestran en el siguiente diagrama. Cada producto usa materias primas con costos, como se indica. La planta tiene tres máquinas: A, B y C. Cada una realiza diferentes tareas y solo trabaja en una unidad de material a la vez.

Los tiempos de proceso se presentan en el diagrama. Cada máquina dispone de 2 400 minutos a la semana. No hay "Murphys" (oportunidades muy probables de que el sistema falle). Los tiempos de preparación y transferencia son cero. La demanda es constante.

El total de los datos de operación (incluso mano de obra) es una constante de $12 000 semanales. Las materias primas no se incluyen en el gasto de operación semanal.

a) ¿Dónde está la restricción en esta planta?
b) ¿Qué mezcla de productos proporciona la mayor utilidad?
c) ¿Cuál es la utilidad máxima que puede ganar esta planta a la semana?



9. Un producto de acero se fabrica a partir de las materias primas (cable de acero de carbono) y después se procesa en secuencia a través de cinco operaciones con las máquinas A a E, respectivamente (vea la siguiente tabla). Es el único uso de las cinco máquinas. Las tasas por hora de cada máquina se presentan en el cuadro.

Operación	1	2	3	4	5
Máquina	A	B	C	D	E
Tasa de producción unitaria por hora	100	80	40	60	90

Considere las siguientes preguntas.

a) ¿Cuál es la producción máxima por hora del producto de acero?
b) ¿En cuánto mejoraría la producción si B se aumentara a 90?
c) ¿En cuánto mejoraría la producción si C se aumentara a 50?
d) ¿En cuánto mejoraría la producción si C se aumentara a 70?
e) ¿Cómo afecta al sistema si la máquina A solo maneja una producción de 90 en una hora?
f) ¿Cómo afecta al sistema si la máquina C solo maneja una producción de 30 en una hora?
g) ¿Cómo afecta al sistema si se permite que la producción de la máquina B disminuya a 30 en una hora?

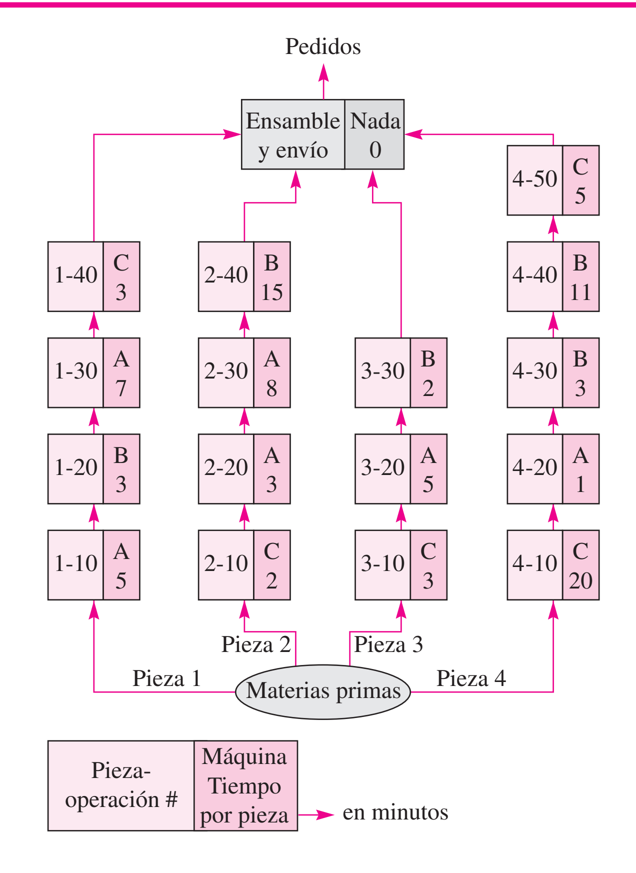
10. El siguiente flujo de producción muestra las piezas O, Q y T, el subensamble U y el ensamble final del producto V.

M a N a O
P a Q
R a S a T
O y Q a U
U y T a V

N implica una operación de cuello de botella y S implica un recurso restringido por la capacidad. Trace el flujo del proceso.

CASO: RESUELVA ESTE ACERTIJO DE TPO: UN RETO DE PROGRAMACIÓN

¿Busca el reto de un programa real? El Dr. Eli Goldratt propuso este problema en la promoción de un paquete de programas para fábricas llamado TPO (tecnología de producción optimizada). En ese entonces, el doctor Goldratt ofreció un premio de $5 000 al mejor programa. Vea qué tan bien elabora un programa con la aplicación en este problema de los conceptos descritos en el capítulo.



LA TAREA

El objetivo es enviar la mayor cantidad de unidades con las condiciones mencionadas más adelante. Prepare los programas en una gráfica Gantt para cada una de las tres máquinas durante un periodo de ocho semanas a fin de mostrar cómo obtuvo su resultado.

CONDICIONES

1. Solo hay una de cada una de las tres máquinas (A, B y C).
2. La preparación de 60 minutos de una máquina ocurre cuando una máquina cambia de una operación a otra.
3. El periodo de ocho semanas consta de semanas de cinco días y días de 24 horas, sin descansos.
4. El suministro de materias primas es ilimitado.
5. Al principio del periodo de ocho semanas no hay inventario en el sistema.
6. Para calcular el valor del trabajo sin terminar y el inventario de componentes terminados, suponga que cada pieza tiene un valor de $100 al momento que empieza en la primera operación. Una vez que llega al ensamble una serie de cuatro piezas, se ensamblan y envían de inmediato. En el cálculo del inventario no se deben incluir las materias primas ni las unidades completas.

MÍNIMO REQUERIDO PARA UNA SOLUCIÓN

1. El valor de las materias primas del trabajo sin terminar y el inventario de piezas terminadas no pueden superar los $50 000 en un periodo determinado.
2. Los envíos mínimos de componentes terminados deben ser de al menos 140 unidades cada semana y al menos 680 unidades al terminar el primer periodo de cuatro semanas.

¡Buena suerte!

Cuestionario

1. De acuerdo con Goldratt, ¿la meta de la compañía es hacer qué?
2. En el nivel operacional, Goldratt sugiere estas tres medidas que deben guiar decisiones.
3. La meta relacionada con estas tres medidas es esto.
4. Goldratt afirma que más que capacidad, esto debe estar equilibrado.
5. Esto es cualquier recurso cuya capacidad sea menor que la demanda puesta en él.
6. Goldratt sugiere que un sistema de producción debe controlarse con estos tres mecanismos.
7. Un cuello de botella debe tener esto colocado frente a él para asegurar que nunca se le agote el trabajo.
8. Se usa una soga para este propósito al controlar un sistema de producción.
9. Con esto se marca el ritmo del sistema de producción.
10. Medida del valor de un inventario y el tiempo que permanece dentro de un área.

1. Ganar dinero 2. Producción, inventario, gastos de operación 3. Aumentar producción al mismo tiempo que se reduce inventario y se reducen gastos de operación 4. Flujo 5. Cuello de botella 6. Tambor, reservas y soga 7. Reservas 8. Comunicación 9. Tambor 10. Días dinero

Bibliografía seleccionada

Goldratt, E., *Critical Chain*, Croton-on-Hudson, Nueva York, North River Press, 1997.

Goldratt, E., *The Haystack Syndrome: Sifting Information Out of the Data Ocean,* Croton-on-Hudson, Nueva York, North River Press, 1990.

Goldratt, E., *Necessary but Not Sufficient,* Croton-on-Hudson, Nueva York, North River Press, 2000.

Goldratt, E., *Theory of Constraints,* Croton-on-Hudson, Nueva York, North River Press, 2000.

Goldratt, E. M. y J. Cox, *The Goal: Process of Ongoing Improvement*, 3a. ed. rev., Croton-on-Hudson, Nueva York, North River Press, 2004.

Ricketts, J., *Reaching the Goal: How Managers Improve a Services Business Using Goldratt's Theory of Constraints*, Nueva York, IBM Press, 2007.

Srikanth, M. y M. Umble, *Synchronous Management: Profit Based Manufacturing for the 21st Century*, Guilford, Connecticut, Spectrum Publishing, 1997.

Goldratt, E. M. y R. E. Fox, *The Race for a Competitive Edge,* Milford, Connecticut, Creative Output, 1986.

Apéndice A

Programación lineal con Solver de Excel

La clave de las operaciones rentables consiste en aprovechar al máximo los recursos disponibles de personas, materiales, planta, equipo y dinero. Hoy en día, el administrador tiene a su alcance una potente herramienta en la programación lineal que le permite hacer modelos matemáticos. En este apéndice se demostrará que el uso de Solver de Excel de Microsoft para solucionar problemas de la PL le abre todo un mundo nuevo al administrador innovador, y, a quienes piensan hacer carrera de asesores, les proporciona un valioso elemento más que podrán sumar a su conjunto de habilidades técnicas. En este apéndice se explica el uso de esta herramienta mediante un problema de planificación de productos. Se encontrará la mezcla óptima de productos que requieren diferentes recursos y tienen distintos costos. Sin duda, este problema es relevante para el mercado competitivo de hoy. Las compañías verdaderamente exitosas ofrecen una mezcla de productos desde modelos estándar hasta presentaciones de lujo. Todos ellos compiten por utilizar la producción limitada y otras capacidades. La empresa que mantiene la mezcla correcta de estos productos a lo largo del tiempo puede elevar sustancialmente sus ganancias y el rendimiento de sus activos.

Se inicia con una breve explicación de la programación lineal y de las condiciones en las que se aplica la técnica. A continuación se resolverá un problema simple de mezcla de productos. A lo largo del libro aparecen otras aplicaciones de la programación lineal.

Introducción

Programación lineal (PL)

La **programación lineal (PL)** se refiere a varias técnicas matemáticas para asignar, en forma óptima, los recursos limitados a distintas demandas que compiten por ellos. La PL es el enfoque más popular de los que caben dentro del título general de técnicas matemáticas para la optimización y se aplica a muchos problemas de administración de operaciones. Algunas aplicaciones comunes son:

Planificación de operaciones y ventas agregadas: Encontrar el programa de producción que tenga el costo mínimo. El problema radica en preparar un plan para un periodo de entre tres y seis meses que, con las limitantes de la capacidad de producción esperada y el tamaño de la fuerza de trabajo, satisfaga la demanda esperada. Los costos relevantes considerados en el problema incluyen los salarios para el trabajo normal y tiempo extra, contrataciones y despidos, subcontratación y costo de manejo de inventarios.

Análisis de la productividad en servicios/manufactura: Considerar el grado de eficiencia con el cual los establecimientos de servicios y de manufactura aprovechan sus recursos en comparación con la unidad que tiene mejor desempeño. Para ello se aplica un enfoque llamado análisis envolvente de datos.

Planificación de productos: Encontrar la mezcla óptima de productos, considerando que varios productos requieren diferentes recursos y tienen distintos costos. Algunos ejemplos son encontrar la mezcla óptima de elementos químicos para gasolina, pinturas, dietas para el ser humano y alimento para animales. Este apéndice cubre algunos ejemplos de este problema.

Rutas de los productos: Encontrar el camino óptimo para fabricar un producto que debe procesarse en secuencia pasando por varios centros de maquinado, donde cada máquina del centro tiene sus propios costos y características de producción.

Programación de vehículos/cuadrillas: Encontrar la ruta óptima para utilizar recursos como aviones, autobuses o camiones y las cuadrillas que los tripulan para ofrecer servicios de transporte a clientes y llevar los materiales que se transportarán entre diferentes plazas.

Control de procesos: Reducir al mínimo el volumen de desperdicio de material generado cuando se corta acero, cuero o tela de un rollo o de una lámina de material.

Control de inventarios: Encontrar la combinación óptima de productos que se tendrán en existencia dentro de una red de almacenes o centros de almacenamiento.

Programación de la distribución: Encontrar el programa óptimo de embarques para distribuir los productos entre fábricas y almacenes o entre almacenes y minoristas.

Estudios para ubicar la planta: Encontrar la ubicación óptima para una nueva planta mediante la evaluación de los costos de embarque entre plazas alternativas y las fuentes de suministro y de demanda.

Manejo de materiales: Encontrar las rutas que impliquen el costo mínimo para el manejo de materiales y máquinas (como grúas) entre los departamentos de una planta o transportar materiales de un patio de almacén a los lugares de trabajo, por ejemplo, por medio de camiones. Cada camión puede tener diferente capacidad de carga y de desempeño.

La programación lineal tiene enorme aceptación en muchas industrias en razón de la disponibilidad de información detallada de las operaciones y el interés por optimizar los procesos para reducir costos. Muchos proveedores de software ofrecen opciones de optimización para usarse con los sistemas de planificación de recursos de las empresas. Algunas compañías los llaman *opción de planificación avanzada*, *planificación sincronizada* y *optimización de procesos.*

Para que una situación plantee un problema de programación lineal debe cumplir con cinco condiciones básicas. En primer término, debe tener *recursos limitados* (como una cantidad limitada de trabajadores, equipamiento, dinero y materiales), porque de lo contrario no habría problema. En segundo, debe tener un *objetivo explícito* (como maximizar la utilidad o reducir el costo). En tercero, debe existir *linealidad* (dos es el doble de uno; es decir, si se necesitan tres horas para hacer una pieza, entonces dos piezas tardarían seis horas, y tres piezas, nueve). En cuarto, debe existir *homogeneidad* (los productos fabricados en una máquina son idénticos o todas las horas que trabaja un obrero son igual de productivas). En quinto, debe existir *divisibilidad*: la programación lineal normal supone que los productos y los recursos se pueden subdividir en fracciones. Si la subdivisión no es posible (como un vuelo con medio avión o la contratación de un cuarto de persona) se utiliza una modificación de la programación lineal llamada *programación entera.*

Cuando el objetivo único es maximizar (por ejemplo, las utilidades) o reducir al mínimo (por ejemplo, los costos), se aplica la programación lineal. Cuando existen varios objetivos, entonces se utiliza la *programación por metas*. Si un problema se resuelve mejor por etapas o plazos, entonces se utiliza la *programación dinámica.* Otras restricciones debidas a la naturaleza del problema tal vez requieran que se recurra a otras variantes de la técnica, como la *programación no lineal* o la *programación cuadrática.*

MODELO DE LA PROGRAMACIÓN LINEAL

En términos formales, el problema de la programación lineal entraña un proceso de optimización en el cual se eligen valores no negativos para una serie de variables de la decisión $X_1, X_2, \ldots, X_n$ de modo que se maximice (o reduzca al mínimo) una función objetivo con la fórmula

$$\text{Maximizar (reducir) } Z = C_1X_1 + C_2X_2 + \cdots + C_nX_n$$

sujeto a las restricciones de los recursos con la fórmula

$$\begin{aligned} A_{11}X_1 + A_{12}X_2 + \cdots + A_{1n}X_n &\le B_1 \\ A_{21}X_1 + A_{22}X_2 + \cdots + A_{2n}X_n &\le B_2 \\ &\vdots \\ A_{m1}X_1 + A_{m2}X_2 + \cdots + A_{mn}X_n &\le B_m \end{aligned}$$

donde C_n, A_{mn} y B_m son constantes dadas.

Según el problema, las restricciones se expresan con signo de igualdad (=) o con signo de mayor o igual que (≥).

Tutorial: Introducción a Solver

Paso a paso

EJEMPLO A.1: Puck and Pawn Company

Se describen los pasos para la solución de un modelo simple de programación lineal en el contexto de un problema de muestra: el caso de Puck and Pawn Company, fabricante de bastones de hockey y juegos de ajedrez. Cada bastón de hockey produce una utilidad incremental de \$2, y cada juego de ajedrez, una de \$4. La fabricación de un bastón requiere 4 horas de trabajo en el centro de maquinado A y 2 horas en el centro de maquinado B. La fabricación de un juego de ajedrez tarda 6 horas en el centro de maquinado A, 6 horas en el centro de maquinado B y 1 hora en el centro de maquinado C. El centro de maquinado A tiene un máximo de 120 horas de capacidad disponible por día, el centro de maquinado B tiene 72 horas y el centro de maquinado C tiene 10 horas.

Si la compañía quiere maximizar la utilidad, ¿cuántos bastones de hockey y juegos de ajedrez debe producir por día?

Solución

Plantee el problema en términos matemáticos. Si H es el número de bastones de hockey y C es el número de juegos de ajedrez, para maximizar la utilidad la función objetivo se puede expresar como

$$\text{Maximizar } Z = \$2H + \$4C$$

La maximización estará sujeta a las restricciones siguientes:

$$4H + 6C \leq 120 \text{ (restricción del centro de maquinado A)}$$
$$2H + 6C \leq 72 \text{ (restricción del centro de maquinado B)}$$
$$1C \leq 10 \text{ (restricción del centro de maquinado C)}$$
$$H, C \geq 0$$ ●

Este planteamiento cumple con los cinco requisitos de una PL estándar mencionados en la primera sección de este apéndice:

1. Los recursos son limitados (un número finito de horas disponibles en cada centro de maquinado).
2. Hay una función objetivo explícita (se conoce el valor de cada variable y la meta para resolver el problema).
3. Las ecuaciones son lineales (no hay exponentes ni productos cruzados).
4. Los recursos son homogéneos (todo se ajusta a una unidad de medida: horas-máquina).
5. Las variables de la decisión son divisibles y no negativas (se puede fabricar una fracción de bastón de hockey o de juego de ajedrez, pero si se considerara que no es deseable, entonces se tendría que utilizar la programación entera).

PROGRAMACIÓN LINEAL GRÁFICA

Programación lineal gráfica

Si bien la aplicación de la programación lineal gráfica se limita a problemas que incluyen dos variables en la decisión (o tres variables en el caso de gráficas tridimensionales), la **programación lineal gráfica** proporciona una visión inmediata de la índole de la programación lineal. Se describirán los pasos que implica el método gráfico en el contexto de Puck and Pawn Company. Los pasos que se presentan a continuación ilustran el enfoque gráfico:

1. **Plantee el problema en términos matemáticos.** Las ecuaciones para el problema ya presentadas.
2. **Grafique las ecuaciones de las restricciones.** Las ecuaciones de las restricciones se grafican fácilmente si se deja que una variable sea igual a cero y se resuelve la intersección del eje de la otra (en este paso no se consideran las fracciones de desigualdad de las restricciones). En el caso de la ecuación de la restricción del centro de maquinado A, cuando $H = 0$, $C = 20$, y cuando $C = 0$, $H = 30$. En el caso de la ecuación de la restricción del centro de maquinado B, cuando $H = 0$, $C = 12$, y cuando $C = 0$, $H = 36$. En el caso de la ecuación

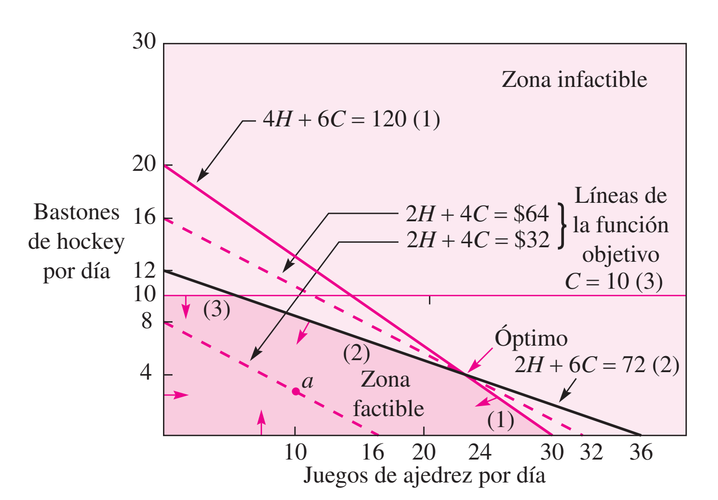


ILUSTRACIÓN A.1
Gráfica del problema de los bastones de hockey y los juegos de ajedrez.

de la restricción del centro de maquinado C, $C = 10$ para todos los valores de H. La ilustración A.1 presenta una gráfica con estas líneas.

3. **Determine el área de factibilidad.** La dirección de los signos de desigualdad de cada restricción determina el área donde se encuentra una solución factible. En este caso, todas las desigualdades son del tipo "menor que" o "igual que", lo que significa que no sería posible producir una combinación de productos que se ubicara a la derecha de alguna de las líneas de las restricciones de la gráfica. La zona de las soluciones factibles está sombreada en la gráfica y forma un polígono convexo. Un polígono convexo se presenta cuando una línea trazada entre dos puntos cualesquiera del polígono permanece dentro de sus fronteras. Si no existe esta condición de convexidad, entonces el problema está mal planteado o no es apto para la programación lineal.
4. **Trace la función objetivo.** La función objetivo se grafica al suponer una cifra arbitraria para la utilidad total y, a continuación, resolver la ecuación con el fin de conocer las coordenadas del eje, como se hizo con las restricciones. Otros términos de la función objetivo en este contexto son la *isoutilidad* o *línea de contribución igual*, porque muestran todas las combinaciones posibles de la producción para una cifra de utilidad dada. Por ejemplo, si se toma la línea punteada más próxima al origen de la gráfica, se determinan todas las combinaciones posibles de bastones de hockey y de juegos de ajedrez que rindan $32 al elegir un punto en la línea y leer el número de cada producto que se fabrica en ese punto. La combinación que produce $32 en el punto *a* sería 10 bastones de hockey y tres juegos de ajedrez. Lo anterior se comprueba al sustituir $H = 10$ y $C = 3$ en la función objetivo:

$$\$2(10) + \$4(3) = \$20 + \$12 = \$32$$

H	*C*	Explicación
0	120/6 = 20	Intersección de restricción (1) y eje *C*
120/4 = 30	0	Intersección de restricción (1) y eje *H*
0	72/6 = 12	Intersección de restricción (2) y eje *C*
72/2 = 36	0	Intersección de restricción (2) y eje *H*
0	10	Intersección de restricción (3) y eje *C*
0	32/4 = 8	Intersección de línea de isoutilidad $32 (función objetivo) y eje *C*
32/2 = 16	0	Intersección de línea de isoutilidad $32 y eje *H*
0	64/4 = 16	Intersección de línea de isoutilidad $64 y eje *C*
64/2 = 32	0	Intersección de línea de isoutilidad $64 y eje *H*

5. **Encuentre el punto óptimo.** En términos matemáticos es comprobable que la combinación óptima de las variables de decisión siempre está en el punto extremo (esquina) del polígono convexo. En la ilustración A.1 hay cuatro puntos en las esquinas (excluyendo el origen) y se puede determinar cuál es el óptimo al tenor de los dos enfoques. El primer enfoque busca encontrar los valores de las diversas soluciones de las esquinas en términos algebraicos.

Esto implica resolver al mismo tiempo las ecuaciones de los distintos pares de líneas que intersecan y sustituir las cantidades de las variables resultantes en la función objetivo. Por ejemplo, los cálculos para la intersección de $2H + 6C = 72$ y $C = 10$ son:

Al sustituir $C = 10$ en $2H + 6C = 72$ se tendrá que $2H + 6(10) = 72$, $2H = 12$, o $H = 6$. Si se sustituye $H = 6$ y $C = 10$ en la función objetivo se tendrá

$$\text{Utilidad} = \$2H + \$4C = \$2(6) + \$4(10)$$
$$= \$12 + \$40 = \$52$$

Una variante de este enfoque es leer las cantidades de H y C directamente en la gráfica y sustituirlas en la función objetivo, como muestra el cálculo anterior. El inconveniente de este enfoque es que en problemas con un número considerable de ecuaciones de restricción habrá muchos puntos posibles que se deban evaluar y el procedimiento de comprobar cada uno en términos matemáticos no es eficiente.

El segundo enfoque, que suele preferirse, implica encontrar el punto óptimo directamente mediante la función objetivo, o línea de isoutilidad. El procedimiento es tan solo trazar una línea recta *paralela* a una línea de isoutilidad, elegida en forma arbitraria, de modo que la línea de isoutilidad sea la más alejada del origen de la gráfica (en problemas de reducción de costos, el objetivo sería trazar la línea por el punto más cercano al origen). En la ilustración A.1, la línea punteada marcada $\$2H + \$4C = \$64$ interseca el punto más distante. Advierta que la línea de isoutilidad inicial escogida arbitrariamente es necesaria para presentar la pendiente de la función objetivo del problema particular.[1] Esto es importante porque una función objetivo diferente (intente con Utilidad = $3H + 3C$) puede indicar que algún otro punto está más lejos del origen. Como $\$2H + \$4C = \$64$ es óptimo, en la gráfica se lee el monto de cada variable para producir: 24 bastones de hockey y cuatro juegos de ajedrez. Ninguna otra combinación de productos genera una utilidad mayor.

PROGRAMACIÓN LINEAL CON EXCEL DE MICROSOFT

Los problemas de programación lineal se resuelven también con hojas de cálculo. Excel de Microsoft cuenta con un instrumento relacionado con la optimización que se llama *Solver*, con el cual se resolverá el problema de los bastones de hockey y los juegos de ajedrez. Se llama a Solver en la pestaña Datos. Un cuadro de diálogo solicita la información que requiere el programa. El ejemplo siguiente describe cómo resolver el problema de muestra con Excel.

Si la opción Solver no aparece en su pestaña Datos, haga clic en Opciones de Excel → Agregar, seleccione Agregar Solver y haga clic en Aceptar. So lver quedará disponible directamente en la pestaña Datos para uso futuro.

En el ejemplo siguiente se trabaja paso por paso: primero se prepara una hoja de cálculo y después se resuelve el problema de Puck and Pawn Company. La estrategia básica es primero definir el problema dentro de la hoja de cálculo. A continuación se abre Solver y se ingresa la información requerida. Por último, se ejecuta Solver y se interpretan los resultados de los informes que presenta el programa.

Paso 1: Defina las celdas cambiantes Un punto conveniente para iniciar es identificar las celdas que se utilizarán para las variables de la decisión del problema. Se trata de H y C, el número de bastones de hockey y el número de juegos de ajedrez que se producirán. En Solver, Excel se refiere a estas celdas como celdas cambiantes. En relación con la pantalla de Excel (ilustración A.2) se ha designado B4 como la ubicación para el número de bastones de hockey y C4 para el número de juegos de ajedrez que se producirán. Advierta que al principio estas celdas están marcadas igual a 2. Se podría colocar cualquier valor en estas celdas, pero es aconsejable usar uno que no sea cero para que ayude a comprobar que los cálculos están correctos.

Paso 2: Calcule la utilidad total (o el costo) Esta es la función objetivo y se calcula al multiplicar la utilidad asociada a cada producto por el número de unidades producidas. Las utilidades

[1] La pendiente de la función objetivo es −2. Si P = utilidad, $P = \$2H + \$4C$; $\$2H = P + \$4C$; $H = P/2 - 2C$. Por tanto, la pendiente es −2.

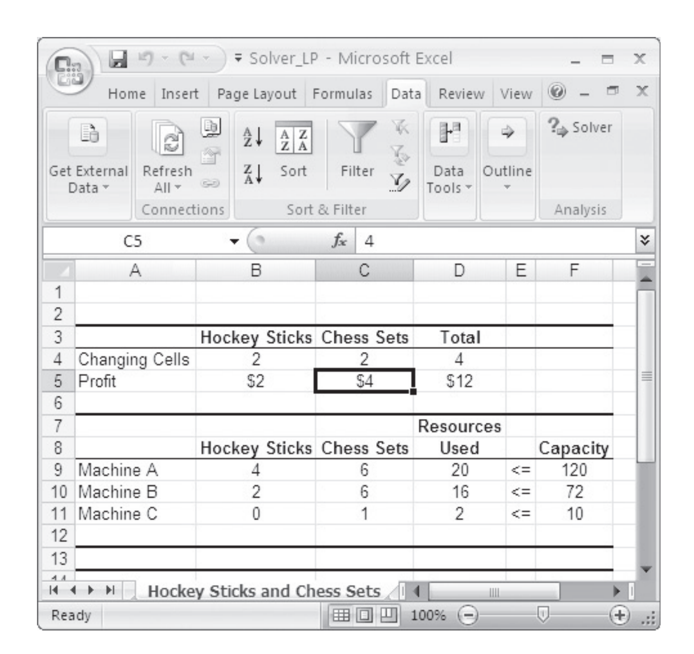


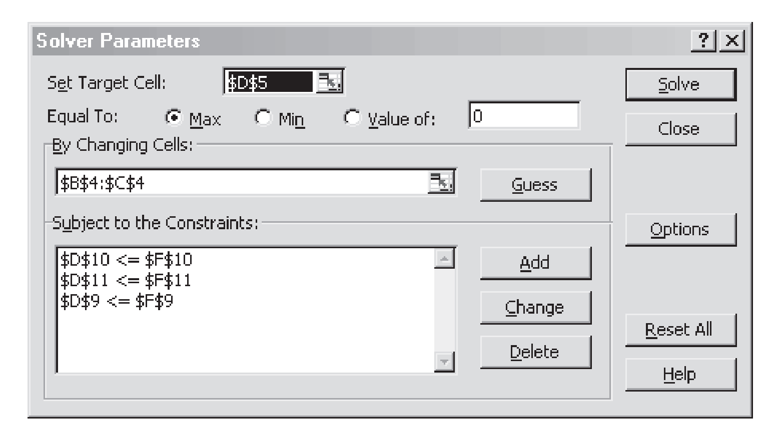
ILUSTRACIÓN A.2
Pantalla de Excel de Microsoft para el caso de Puck and Pawn Company.

Excel: PL Solver

de las celdas B5 y C5 ($2 y $4) se anotaron de modo que la utilidad se calcule con la ecuación siguiente: B4*B5 + C4*C5, la cual se calcula en la celda D5. Solver se refiere a ella como celda objetivo y corresponde a la función objetivo de un problema.

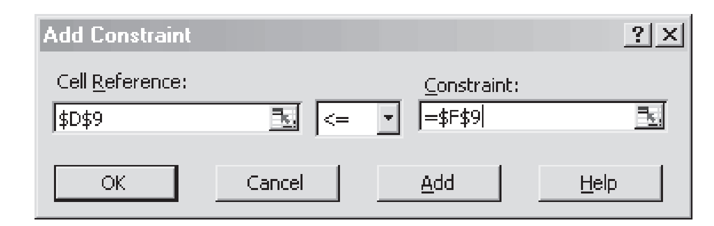
Paso 3: Establezca el uso de recursos Los recursos son los centros de maquinado A, B y C como se definieron en el problema original. Se establecieron tres filas (9, 10 y 11) en la hoja de cálculo, una por cada restricción de recursos. En el centro de maquinado A se emplean cuatro horas de procesamiento por cada bastón de hockey (celda B9) y seis horas por cada juego de ajedrez (celda C9). Para una solución particular, el total del recurso del centro de maquinado A utilizado se calcula en D9 (B9*B4 + C9*C4). En la celda E9 se indicó que se quiere que este valor sea menor que la capacidad de 120 horas del centro de maquinado A, asentado en F9. El uso de recursos de los centros de maquinado B y C se anota exactamente de la misma manera en las filas 10 y 11.

Paso 4: Prepare Solver Vaya a la pestaña Datos y seleccione la opción Solver.

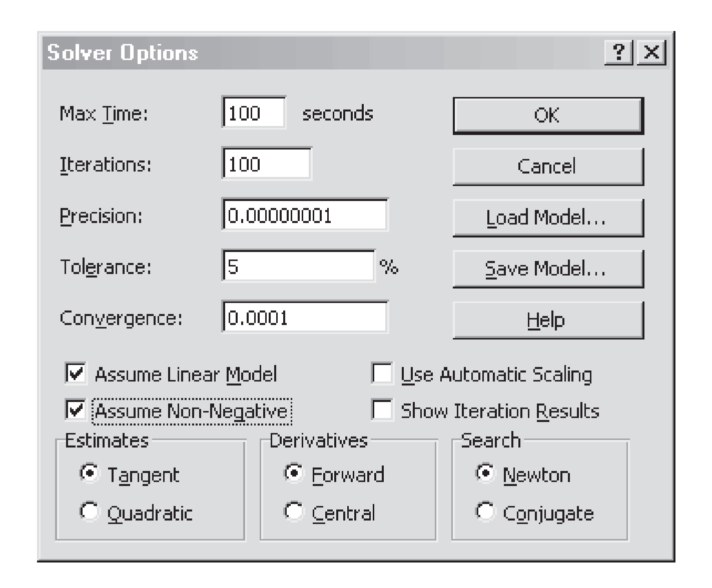


1. Establezca la celda objetivo: se selecciona la ubicación donde se calculará el valor que se desea optimizar. Esta es la utilidad calculada en D5 en la hoja de cálculo.
2. Igual que: se selecciona Máximo porque el objetivo es maximizar la utilidad.
3. Mediante celdas cambiantes: son las celdas que Solver puede cambiar para maximizar la utilidad. En el problema, las celdas cambiantes van de la B4 a la C4.
4. Sujetas a las siguientes restricciones: corresponde a la capacidad del centro de maquinado. Ahí se hace clic en Agregar y se indica que el total utilizado de un recurso es menor o igual

que la capacidad disponible. A continuación se presenta un ejemplo para el centro de maquinado A. Haga clic en Aceptar después de especificar cada restricción.



5. Un clic en Opciones permite indicar a Solver qué tipo de problema se desea resolver y cómo se desea solucionar. Solver tiene muchas opciones, pero aquí solo se usarán unas cuantas. A continuación se muestra la pantalla.



La mayor parte de las opciones se refiere a la manera en que Solver trata de solucionar problemas no lineales, cuya resolución es complicada y es difícil encontrar las soluciones óptimas. Por fortuna el problema es lineal. Esto se sabe porque las restricciones y la función objetivo se calculan mediante ecuaciones lineales. Haga clic en Adoptar modelo lineal para indicar a Solver que se desea resolver el problema con la opción de la programación lineal. Además, se sabe que las celdas cambiantes (variables de la decisión) deben ser números mayores o iguales que cero, porque no tiene sentido fabricar un número negativo de bastones de hockey o de juegos de ajedrez. Se indica lo anterior al seleccionar la opción de Asumir no negativos. Ahora ya se puede resolver el problema. Haga clic en Aceptar para volver al cuadro Parámetros de Solver.

Paso 5: Resuelva el problema Haga clic en Resolver. De inmediato se presenta un reconocimiento de Resultados de Solver como el que se presenta a continuación.

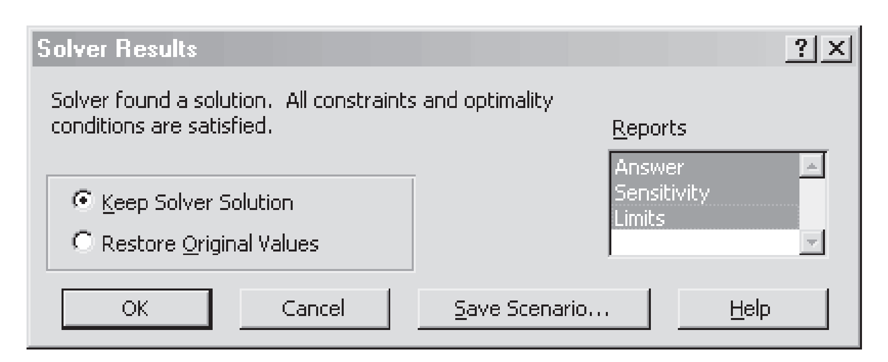


ILUSTRACIÓN A.3 Informes de respuestas y sensibilidad de Solver de Excel.

Informe de respuestas

Celda objetivo (Máx)

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
$D$5	Utilidad total	$12	$64

Celdas ajustables

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
$B$4	Celdas cambiantes bastones hockey	2	24
$C$4	Celdas cambiantes juegos ajedrez	2	4

Restricciones

Celda	Nombre	Valor celda	Fórmula	Estatus	Margen
$D$11	Con máquina C	4	$D$11 < = 5$F$11	No vinculante	6
$D$10	Con máquina B	72	$D$10 < = 5$F$10	Vinculante	0
$D$9	Con máquina A	120	$D$9 < = 5$F$9	Vinculante	0

Informe de sensibilidad

Celdas ajustables

Celda	Nombre	Valor final	Costo reducido	Coeficiente objetivo	Incremento permitido	Decremento permitido
$B$4	Celdas cambiantes bastones hockey	24	0	2	0.666666667	0.666666667
$C$4	Celdas cambiantes juegos ajedrez	4	0	4	2	1

Restricciones

Celda	Nombre	Valor final	Precio sombra	Restricción de RH	Incremento permitido	Decremento permitido
$D$11	Con máquina C	4	0	10	1E +30	6
$D$10	Con máquina B	72	0.333333333	72	18	12
$D$9	Con máquina A	120	0.333333333	120	24	36

Solver reconoce que se encontró una solución que parece la óptima. Del lado derecho de este cuadro aparecen opciones para tres informes: Respuestas, Sensibilidad y Límites. Haga clic en cada informe para que Solver se lo proporcione. Después de resaltar los informes, haga clic en Aceptar para volver a salir a la hoja de cálculo. Se crearon tres nuevos elementos que corresponden a estos informes.

Los informes más interesantes para el problema son el Informe de respuestas y el Informe de sensibilidad, como aparecen en la ilustración A.3. El Informe de respuestas muestra las respuestas finales relativas a la utilidad total ($64) y las cantidades producidas (24 bastones de hockey y 4 juegos de ajedrez). En la sección de restricciones del Informe de respuestas aparece el estatus de cada recurso. Se utiliza el total del centro de maquinado A y del centro de maquinado B, y hay seis unidades de margen para el centro de maquinado C.

El Informe de sensibilidad se divide en dos partes. La primera, "Celdas cambiantes", corresponde a los coeficientes de la función objetivo. La utilidad por unidad para los bastones de hockey puede ascender o descender $0.67 (entre $2.67 y $1.33) sin tener repercusiones en la solución. Por otro lado, la utilidad de los juegos de ajedrez puede ser entre $6 y $3 sin cambiar

la solución. En el caso del centro de maquinado A, el lado derecho puede aumentar a 144 (120 + 24) o disminuir a 84 con un incremento o decremento de $0.33 por unidad en la función objetivo. El lado derecho del centro de maquinado B puede aumentar a 90 unidades o disminuir a 60 unidades con el mismo cambio de $0.33 para cada unidad de la función objetivo. En el caso del centro de maquinado C, el lado derecho puede aumentar al infinito (1E+30 es una notación científica para una cifra muy alta) o disminuir a 4 unidades sin cambio alguno en la función objetivo.

Conceptos clave

Programación lineal (PL) Se refiere a varias técnicas matemáticas para asignar en forma óptima recursos limitados entre demandas que compiten por ellos.

Programación lineal gráfica Proporciona una visión rápida de la naturaleza de la programación lineal.

Problemas resueltos

Problema resuelto 1

Una mueblería elabora tres productos: mesas, sofás y sillas. Estos productos se procesan en cinco departamentos: aserrado de madera, corte de tela, lijado, entintado y montaje. Las mesas y las sillas solo llevan madera, y los sofás, madera y tela. Se requiere mucho pegamento e hilo, y estos representan un costo relativamente insignificante que se incluye en el gasto de operaciones. Los requerimientos específicos de cada producto son los siguientes:

Recurso o actividad (cantidad disponible por mes)	Requerimiento por mesa	Requerimiento por sofá	Requerimiento por silla
Madera (4 350 pies de tablones)	10 pies de tablones @ $10/pie = $100/mesa	7.5 pies de tablones @ $10/pie = $75	4 pies de tablones @ $10/pie = $40
Tela (2 500 yardas)	Ninguno	10 yardas @ $17.50/yarda = $175	Ninguno
Aserrar la madera (280 horas)	30 minutos	24 minutos	30 minutos
Cortar la tela (140 horas)	Ninguno	24 minutos	Ninguno
Lijar (280 horas)	30 minutos	6 minutos	30 minutos
Entintar (140 horas)	24 minutos	12 minutos	24 minutos
Montar (700 horas)	60 minutos	90 minutos	30 minutos

Los gastos de mano de obra directa de la compañía suman $75 000 por mes por concepto de las 1 540 horas de trabajo, a $48.70 por hora. Con base en la demanda actual, la empresa puede vender 300 mesas, 180 sofás y 400 sillas por mes. Los precios de venta son $400 para las mesas, $750 para los sofás y $240 para las sillas. Suponga que el costo de mano de obra es fijo y que, durante el próximo mes, la empresa no proyecta contratar ni despedir a empleados.

Se desea saber:

1. ¿Cuál es el recurso más limitante para la compañía mueblera?
2. Determine la mezcla de productos necesaria para maximizar la utilidad de la compañía mueblera. ¿Cuál es el número óptimo de mesas, sofás y sillas que debe producir por mes?

Solución

Defina X_1 como el número de mesas, X_2 como el número de sofás y X_3 como el número de sillas por producir cada mes. La utilidad se calcula como el ingreso por cada artículo menos el costo de materiales (madera y tela), menos el costo de mano de obra. Como la mano de obra es fija, se resta como una cantidad total. En términos matemáticos se tiene $(400 - 100)X_1 + (750 - 75 - 175)X_2 + (240 - 40)X_3 - 75\,000$. La utilidad se calcula así:

$$\text{Utilidad} = 300X_1 + 500X_2 + 200X_3 - 75\,000$$

Las restricciones son las siguientes:

Madera:	$10X_1 + 7.5X_2 + 4X_3 \leq 4\,350$
Tela:	$10X_2 \leq 2\,500$
Aserrado:	$.5X_1 + .4X_2 + .5X_3 \leq 280$
Cortado:	$.4X_2 \leq 140$
Lijado:	$.5X_1 + .1X_2 + .5X_3 \leq 280$
Entintado:	$.4X_1 + .2X_2 + .4X_3 \leq 140$
Montaje:	$1X_1 + 1.5X_2 + .5X_3 \leq 700$
Demanda:	
Mesas:	$X_1 \leq 300$
Sofás:	$X_2 \leq 180$
Sillas:	$X_3 \leq 400$

Paso 1: *Establezca las celdas cambiantes.* Estas son B3, C3 y D3. Advierta que estas celdas se establecieron iguales a cero.

E4 fx =B4*$B$3+C4*$C$3+D4*$D$3-75000

	A	B	C	D	E	F
1	Furniture Company					
2		End Tables	Sofas	Chairs	Total	Limit
3	Changing cells	0	0	0		
4	Profit	$300	$500	$200	-$75,000	
5						
6	Lumber	10	7.5	4	0	4350
7	Fabric	0	10	0	0	2500
8	Saw	0.5	0.4	0.5	0	280
9	Cut fabric	0	0.4	0	0	140
10	Sand	0.5	0.1	0.5	0	280
11	Stain	0.4	0.2	0.4	0	140
12	Assemble	1	1.5	0.5	0	700
13	Table Demand	1			0	300
14	Sofa Demand		1		0	180
15	Chair Demand			1	0	400
16						

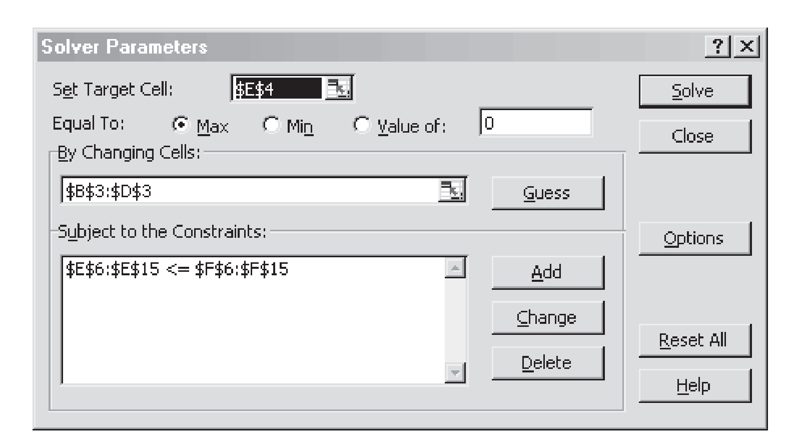
Solved Problem

Ready NUM

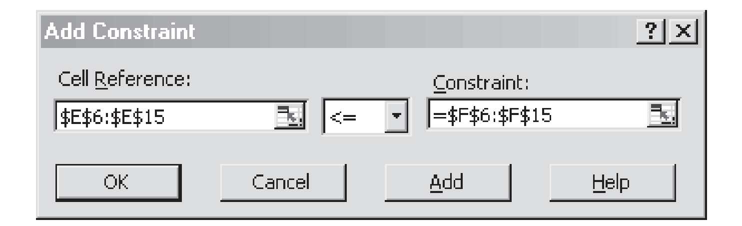
Paso 2: *Calcule la utilidad total.* Esta es E4 (igual a B3 multiplicado por $300 del ingreso asociado a cada mesa, más C3 multiplicado por $500 del ingreso por cada sofá, más D3 multiplicado por $200 del ingreso asociado a cada silla). Observe que, para calcular la utilidad, el gasto fijo de $75 000 se restó del ingreso.

Paso 3: *Establezca el uso de recursos.* En las celdas que van de la E6 a la E15, el uso de cada recurso se calcula al multiplicar B3, C3 y D3 por el monto que se necesita para cada artículo y sumar el producto (por ejemplo, E6 = B3*B6 + C3*C6 + D3*D6). Los límites de estas restricciones están anotados en las celdas F6 a F15.

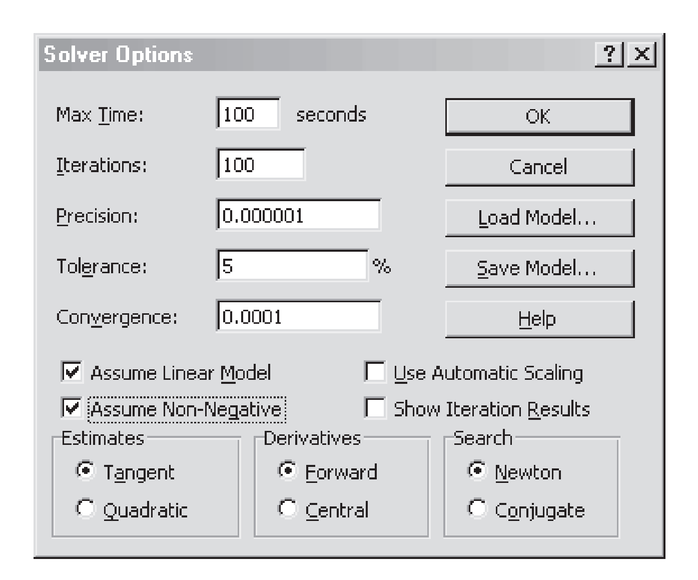
Paso 4: *Establezca Solver.* Vaya a Herramientas y seleccione la opción Solver.



a) Establecer la celda objetivo: Se establece en la ubicación donde se calcula el valor que se desea optimizar. Esta es la utilidad calculada en E4 en esta hoja de cálculo.
b) Igual a: Se establece en Máximo porque la meta es maximizar la utilidad.
c) Mediante celdas cambiantes: Son las celdas que Solver puede cambiar para maximizar la utilidad (de la celda B3 a la D3 en este problema).
d) Sujeta a las siguientes restricciones: Es donde se suma el conjunto de restricciones; se indica que el rango de E6 a E15 debe ser menor o igual que el rango de F6 a F15.



Paso 5: *Marque las opciones.* Aquí hay muchas opciones, pero para los propósitos que se buscan solo se necesita señalar Adoptar modelo lineal y Asumir no negativos. Adoptar modelo lineal significa que todas las fórmulas son simples ecuaciones lineales. Asumir no negativos indica que las celdas cambiantes deben ser mayores o iguales que cero. Con un clic en Aceptar estará listo para resolver el problema.



Paso 6: *Resuelva el problema.* Haga clic en Resolver. Se ve la solución y dos informes especiales que resaltan los elementos en el reconocimiento de Resultados de Solver que aparece después de que se encuentra una solución. Advierta que en el informe siguiente Solver indica que encontró una solución y que se cumplió con todas las restricciones y condiciones de optimalidad. En el cuadro de Informes a la derecha se resaltan las opciones Respuestas, Sensibilidad y Límites, lo que indica que se desea ver estos elementos. Tras resaltar los informes, haga clic en Aceptar para regresar a la hoja de cálculo.

Solver Results
Solver found a solution. All constraints and optimality conditions are satisfied.
Reports
Answer
Sensitivity
Limits
Keep Solver Solution
Restore Original Values
OK
Cancel
Save Scenario...
Help

Observe que se crearon tres nuevos elementos: un Informe de respuestas, un Informe de sensibilidad y un Informe de límites. El Informe de respuestas indica en la sección de la Celda objetivo que la utilidad asociada a la solución es de $93 000 (se inició con –$75 000). Según la sección de la Celda objetivo se deberían fabricar 260 mesas, 180 sofás y ninguna silla. Según la sección de las Restricciones, advierta que las únicas restricciones que afectan la utilidad son la capacidad de entintado y la demanda de sofás. Lo anterior se ve en la columna que indica si una restricción limita o no limita. Las restricciones que no limitan tienen un margen, como indica la última columna.

Celda objetivo (Máx)

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
$E$4	Total utilidad	–$75 000	$93 000

Celdas ajustables

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
$B$3	Celdas cambiantes mesas	0	260
$C$3	Celdas cambiantes sofás	0	180
$D$3	Celdas cambiantes sillas	0	0

Restricciones

Celda	Nombre	Valor celda	Fórmula	Estatus	Margen
$E$6	Total madera	3 950	$E$6 < = 5$F$6	No vinculante	400
$E$7	Total tela	1 800	$E$7 < = 5$F$7	No vinculante	700
$E$8	Total serrado	202	$E$8 < = 5$F$8	No vinculante	78
$E$9	Total cortar tela	72	$E$9 < = 5$F$9	No vinculante	68
$E$10	Total lijar	148	$E$10 < = 5$F$10	No vinculante	132
$E$11	Total entintar	140	$E$11 < = 5$F$11	Vinculante	0
$E$12	Total montar	530	$E$12 < = 5$F$12	No vinculante	170
$E$13	Total demanda mesas	260	$E$13 < = 5$F$13	No vinculante	40
$E$14	Total demanda sofás	180	$E$14 < = 5$F$14	Vinculante	0
$E$15	Total demanda sillas	0	$E$15 < = 5$F$15	No vinculante	400

Desde luego, esta solución podría no complacer demasiado porque no se satisface toda la demanda de mesas y tal vez no sea aconsejable discontinuar del todo la producción de sillas.

El Informe de sensibilidad (que se presenta a continuación) brinda más información de la solución. La sección de las Celdas cambiantes de este informe muestra el valor final de cada celda y el costo reducido. Este indica cuánto cambiaría el valor de la Celda objetivo si se introdujera a la solución una celda actualmente establecida en cero. Como las mesas (B3) y los sofás (C3) están en la solución actual, su costo reducido es cero. Por cada silla (D3) que se fabrique, la Celda objetivo disminuiría $100 (solo redondee estas cifras para efectos de interpretación). Las tres columnas finales de la sección de celdas ajustables son el Coeficiente objetivo de la hoja de cálculo original y las columnas tituladas Incremento permitido y Decremento permitido. Estas dos muestran cuánto cambiaría el valor del coeficiente correspondiente de modo que no cambiaran los valores de las celdas cambiantes (por supuesto, el valor de la Celda objetivo cambiaría). Por ejemplo, el ingreso por cada mesa podría ascender hasta $1 000 ($300 + $700) o descender hasta $200 ($300 – $100) y no obstante se querrían producir 260 mesas. Recuerde que estos valores suponen que no hay ningún otro cambio en el problema. En el caso del incremento permitido del valor de los sofás, advierta el valor 1E+30. Se trata de una notación científica que representa un número muy grande, en esencia infinito.

Celdas ajustables

Celda	Nombre	Valor final	Costo reducido	Coeficiente objetivo	Incremento permitido	Decremento permitido
$B$3	Celdas cambiantes mesas	260	0	299.9999997	700.0000012	100.0000004
$C$3	Celdas cambiantes sofás	180	0	500.0000005	1E + 30	350.0000006
$D$3	Celdas cambiantes sillas	0	–100.0000004	199.9999993	100.0000004	1E + 30

Restricciones

Celda	Nombre	Valor final	Precio sombra	Restricción de RH	Incremento permitido	Decremento permitido
$E$6	Total madera	3 950	0	4 350	1E + 30	400
$E$7	Total tela	1 800	0	2 500	1E + 30	700
$E$8	Total serrado	202	0	280	1E + 30	78
$E$9	Total cortado tela	72	0	140	1E + 30	68
$E$10	Total lijado	148	0	280	1E + 30	132
$E$11	Total entintado	140	749.9999992	140	16	104
$E$12	Total armado	530	0	700	1E + 30	170
$E$13	Demanda total mesas	260	0	300	1E + 30	40
$E$14	Demanda total sofás	180	350.0000006	180	70	80
$E$15	Demanda total sillas	0	0	400	1E + 30	400

En la sección de Restricciones del informe, el uso final real de cada recurso se presenta en Valor final. El Precio sombra es el valor de la celda objetivo para cada unidad que incrementa el recurso. Si se pudiera incrementar la capacidad de entintado, costaría $750 por hora. La Restricción del lado derecho es el límite actual del recurso. El Incremento permitido es la cantidad que podría incrementar el recurso mientras el precio sombra siguiera siendo válido. Se podrían sumar otras 16 horas de trabajo a la capacidad de entintado, con un valor de $750 por hora. Por otro lado, la columna Decremento permitido muestra la cantidad en que se podría disminuir el recurso sin cambiar el precio sombra. Hay información valiosa en el informe.

El Informe de límites proporciona más información acerca de la solución.

Celda	Nombre meta	Valor
$E$4	Total utilidad	$93 000

Celda	Nombre ajustable	Valor	Límite inferior	Resultado objetivo	Límite superior	Resultado objetivo
$B$3	Celdas cambiantes mesas	260	0	15 000	260.0000002	93 000
$C$3	Celdas cambiantes sofás	180	0	3 000	180	93 000
$D$3	Celdas cambiantes sillas	0	0	93 000	0	93 000

La utilidad total de la solución actual es de $93 000. El valor actual de B3 (mesas) es de 260 unidades. Si se redujera a 0 unidades, la utilidad bajaría a $15 000. En el límite superior de 260, la utilidad es de $93 000 (la solución actual). Por otro lado, para C3 (sofás), si se redujera a 0, la utilidad bajaría a $3 000. En el límite superior de 180, la utilidad es $93 000. Para D3 (sillas), si se redujera a 0, la utilidad es $93 000 (solución actual), y en este caso el límite superior de las sillas también es de 0 unidades.

Las respuestas aceptables a las preguntas son las siguientes:

1. *¿Cuál es el recurso más limitante para la compañía mueblera?*
   En términos de recursos de producción, la capacidad de entintado afecta realmente la utilidad en este momento. Se podrían utilizar otras 16 horas de capacidad.
2. *Determine la mezcla de productos que se necesita para maximizar la utilidad de la compañía mueblera.*
   La mezcla de productos sería fabricar 260 mesas, 180 sofás y ninguna silla.

Desde luego, esta solución solo representa una revisión superficial. De hecho se podría experimentar con un incremento de la capacidad para entintar. Esto proporcionaría información del siguiente recurso más limitante. También se podrían montar escenarios en los que se requiera producir un número mínimo de cada producto, lo cual quizá sea un escenario más realista. Esto ayudaría a determinar cómo reasignar el uso del trabajo en el taller.

Problema resuelto 2

Son las dos de la tarde del viernes y Joe Bob, el chef principal (encargado de la parrilla) de Bruce's Diner, trata de determinar la mejor manera de asignar las materias primas disponibles a los cuatro platillos especiales del viernes por la noche. La decisión se debe tomar temprano por la tarde porque tres de los platillos se deben empezar a preparar ya (albóndigas, tacos y picadillo). La tabla que está en seguida contiene la información sobre los alimentos en inventario y las cantidades requeridas por cada platillo.

Alimento	Hamburguesa con queso	Albóndigas	Tacos	Picadillo	Disponible
Carne molida (lbs)	0.3	0.25	0.25	0.4	100 lbs
Queso (lbs)	0.1	0	0.3	0.2	50 lbs
Frijoles (lbs)	0	0	0.2	0.3	50 lbs
Lechuga (lbs)	0.1	0	0.2	0	15 lbs
Tomate (lbs)	0.1	0.3	0.2	0.2	50 lbs
Panes	1	1	0	0	80 panes
Tortillas	0	0	1	0	80 tortillas

No hay otros hechos importantes para la decisión de Joe Bob. A continuación se presenta la demanda de mercado estimada y el precio de venta.

	Hamburguesas con queso	Albóndigas	Tacos	Picadillo
Demanda	75	60	100	55
Precio de venta	$2.25	$2.00	$1.75	$2.50

Joe Bob quiere maximizar el ingreso porque ya compró todos los ingredientes, los cuales están en el congelador.

Se desea saber:

1. ¿Cuál es la mejor mezcla de los especiales del viernes por la noche para maximizar el ingreso de Joe Bob?
2. Si un proveedor ofreciera surtir un pedido extra de panes a $1.00 la pieza, ¿vale la pena invertir ese dinero?

Solución

Defina X_1 como el número de hamburguesas con queso, X_2 como el número de albóndigas, X_3 como el número de tacos y X_4 como el número de porciones de picadillo que se prepararán para los especiales del viernes.

$$\text{Ingreso} = \$2.25\, X_1 + \$2.00\, X_2 + \$1.75\, X_3 + \$2.50\, X_4$$

Las restricciones son las siguientes:

Carne molida: $0.30\, X_1 + 0.25\, X_2 + 0.25\, X_3 + 0.40\, X_4 \le 100$
Queso: $0.10\, X_1 + 0.30\, X_3 + 0.20\, X_4 \le 50$
Frijoles: $0.20\, X_3 + 0.30\, X_4 \le 50$
Lechuga: $0.10\, X_1 + 0.20\, X_3 \le 15$
Jitomate: $0.10\, X_1 + 0.30\, X_2 + 0.20\, X_3 + 0.20\, X_4 \le 50$
Panes: $X_1 + X_2 \le 80$
Tortillas: $X_3 \le 80$

Demanda

Hamburguesa con queso $X_1 \le 75$
Albóndigas $X_2 \le 60$
Tacos $X_3 \le 100$
Picadillo $X_4 \le 55$

Paso 1: *Defina las celdas cambiantes.* Son B3, C3, D3 y E3. Observe que los valores de las celdas cambiantes se establecieron en 10 cada una de modo que se puedan comprobar las fórmulas.

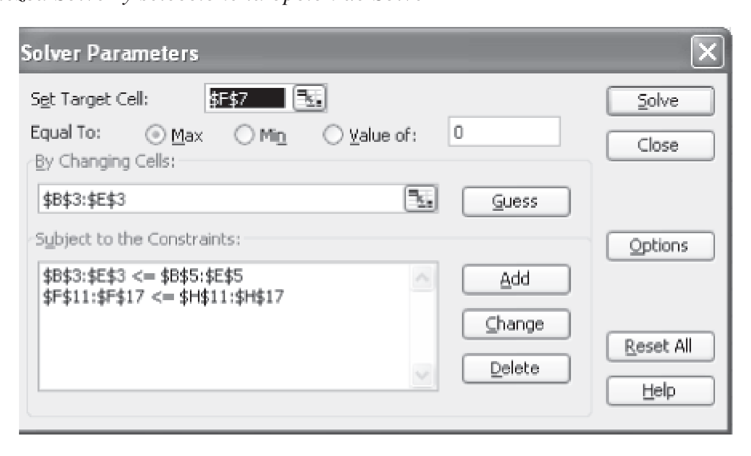
F7 | =SUMPRODUCT($B$3:$E$3,B7:E7)

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2		Cheese Burger	Sloppy Joes	Taco	Chili			
3	Changing Cells	10	10	10	10			
4		>=	>=	>=	>=			
5	Demand	75	60	100	55			
6						Total		
7	Revenue	$ 2.25	$ 2.00	$ 1.75	$ 2.50	$ 85.00		
8								
9								
10	Food	Cheese Burger	Sloppy Joes	Taco	Chili	Total		Available
11	Ground Beef (lbs.)	0.3	0.25	0.25	0.4	12.00	<=	100
12	Cheese (lbs.)	0.1	0	0.3	0.2	6.00	<=	50
13	Beans (lbs.)	0	0	0.2	0.3	5.00	<=	50
14	Lettuce (lbs.)	0.1	0	0.2	0	3.00	<=	15
15	Tomato (lbs.)	0.1	0.3	0.2	0.2	8.00	<=	50
16	Buns	1	1	0	0	20.00	<=	80
17	Taco Shells	0	0	1	0	10.00	<=	80
18								

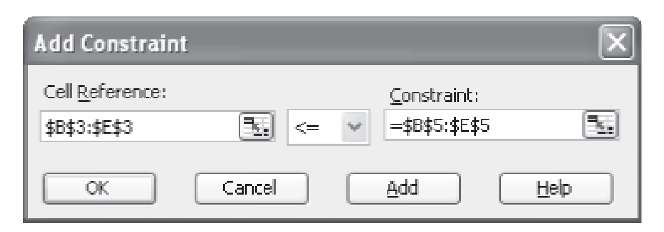
Paso 2: *Calcule el ingreso total.* Está en la celda F7 (es igual a B3 multiplicado por $2.25 de cada hamburguesa con queso, más C3 multiplicado por $2.00 de las albóndigas, más D3 multiplicado por $1.75 de cada taco, más E3 multiplicado por $2.50 por cada porción de picadillo, se utilizó la función SUMAPRODUCTOS de Excel para agilizar el cálculo). Advierta que el valor actual es de $85, es decir, el resultado de vender 10 unidades de cada platillo.

Paso 3: *Establezca el uso de la comida.* En las celdas F11 a F17, el uso de cada alimento se calcula al multiplicar la fila de las celdas cambiantes por el uso de cada artículo que aparece en la tabla y después sumar los resultados. Los límites de cada uno de estos tipos de alimentos se presentan de H11 a H17.

Paso 4: *Establezca Solver y seleccione la opción de Solver*



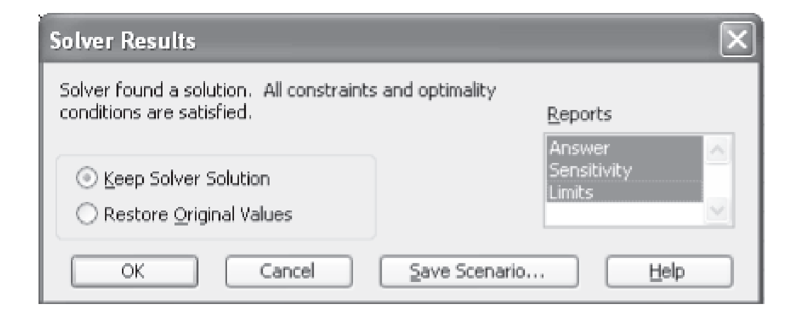
a) Establecer la celda objetivo: Se establece en la ubicación donde se calcula el valor que se desea optimizar. El ingreso se calcula en F7 en esta hoja de cálculo.
b) Igual a: Se establece en Máximo porque el objetivo es maximizar el ingreso.
c) Mediante celdas cambiantes: Son las que indican la cantidad de cada platillo que se debe producir.
d) Sujeto a las siguientes restricciones: Es donde se añaden dos restricciones separadas, una para la demanda y otra para el uso de los alimentos.



Paso 5: *Establezca opciones.* Haga clic en Opciones. Se dejan todas las opciones en sus valores en forma predeterminada y solo tendrán que asegurarse dos cambios: 1) marcar la opción Adoptar modelo lineal y 2) marcar la opción Asumir no negativos. Estas dos opciones garantizan que Solver sepa que se trata de un problema de programación lineal y que todas las celdas cambiantes deben ser no negativas. Haga clic en Aceptar para volver a la pantalla de los Parámetros de Solver.

Solver Options
Max Time: 100 seconds
Iterations: 100
Precision: 0.000001
Tolerance: 5 %
Convergence: 0.0001
OK
Cancel
Load Model...
Save Model...
Help
Assume Linear Model
Assume Non-Negative
Use Automatic Scaling
Show Iteration Results
Estimates: Tangent, Quadratic
Derivatives: Forward, Central
Search: Newton, Conjugate

Paso 6: *Resuelva el problema.* Haga clic en Resolver. Aparecerá el recuadro de Resultados de Solver. Asegúrese que indique lo siguiente: "Solver encontró una solución. Todas las restricciones y condiciones de optimización están satisfechas".



En el lado derecho del cuadro aparece una opción para tres informes: Respuestas, Sensibilidad y Límites. Haga clic en los tres informes y después haga clic en Aceptar, lo que lo devuelve a la hoja de cálculo, pero tendrá tres nuevas hojas de trabajo en su libro de trabajo.

El informe de respuestas indica que la celda objetivo tiene una solución final de $416.25 y empezó como $85. En el área de las celdas ajustables se ve que se deben preparar 20 hamburguesas con queso, 60 albóndigas, 65 tacos y 55 porciones de picadillo. Esto responde el primer requerimiento del problema de la mezcla conveniente de los platillos especiales del viernes.

Celda objetivo (Máx)

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
$F$7	Total ingreso	$85.00	$416.25

Celdas ajustables

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
$B$3	Celdas cambiantes hamburguesa con queso	10	20
$C$3	Celdas cambiantes albóndigas	10	60
$D$3	Celdas cambiantes tacos	10	65
$E$3	Celdas cambiantes picadillo	10	55

Restricciones

Celda	Nombre	Valor celda	Fórmula	Estatus	Margen
$F$11	Total carne molida (lbs)	59.25	$F$11 < = 5$H$11	No vinculante	40.75
$F$12	Total queso (lbs)	32.50	$F$12 < = 5$H$12	No vinculante	17.5
$F$13	Total frijoles (lbs)	29.50	$F$13 < = 5$H$13	No vinculante	20.5
$F$14	Total lechuga (lbs)	15.00	$F$14 < = 5$H$14	Vinculante	0
$F$15	Total jitomate (lbs)	44.00	$F$15 < = 5$H$15	No vinculante	6
$F$16	Total panes	80.00	$F$16 < = 5$H$16	Vinculante	0
$F$17	Total tortillas	65.00	$F$17 < = 5$H$17	No vinculante	15
$B$3	Celdas cambiantes hamburguesa con queso	20	$B$3 < = 5$B$5	No vinculante	55
$C$3	Celdas cambiantes albóndigas	60	$C$3 < = 5$C$5	Vinculante	0
$D$3	Celdas cambiantes tacos	65	$D$3 < = 5$D$5	No vinculante	35
$E$3	Celdas cambiantes picadillo	55	$E$3 < = 5$E$5	Vinculante	0

La segunda respuesta requerida era si valía la pena pagar a un proveedor de urgencia $1 por cada unidad adicional de panes. El informe de respuestas muestra que la restricción de los panes era vinculante. Esto significa que si hubiera más panes se podría ganar más dinero. No obstante, el informe de respuestas no indica si vale la pena este pedido extraordinario de panes a $1 la unidad. Para responder la pregunta se tiene que ver el informe de sensibilidad.

Celdas ajustables

Celda	Nombre	Valor final	Costo reducido	Coeficiente objetivo	Incremento permitido	Decremento permitido
$B$3	Celdas cambiantes hamburguesas con queso	20	0	2.25	0.625	1.375
$C$3	Celdas cambiantes albóndigas	60	0.625	2	1E + 30	0.625
$D$3	Celdas cambiantes tacos	65	0	1.75	2.75	1.25
$E$3	Celdas cambiantes picadillo	55	2.5	2.5	1E + 30	2.5

Restricciones

Celda	Nombre	Valor final	Precio sombra	Restricción de RH	Incremento permitido	Decremento permitido
$F$11	Total carne molida (lbs)	59.25	0.00	100	1E + 30	40.75
$F$12	Total queso (lbs)	32.50	0.00	50	1E + 30	17.5
$F$13	Total frijoles (lbs)	29.50	0.00	50	1E + 30	20.5
$F$14	Total lechuga (lbs)	15.00	8.75	15	3	13
$F$15	Total jitomate (lbs)	44.00	0.00	50	1E + 30	6
$F$16	Total panes	80.00	1.38	80	55	20
$F$17	Total tortillas	65.00	0.00	80	1E + 30	15

Se resaltó la fila de los panes para responder la pregunta. Se ve que los panes tienen un precio sombra de $1.38. El precio sombra significa que cada pan adicional generará $1.38 de utilidad. También se aprecia que otros alimentos, como la carne molida, tienen un precio sombra de $0. Los artículos con un precio sombra de $0 no suman nada a la utilidad, porque actualmente no se usa todo lo que se tiene. La otra información importante que se tiene respecto de los panes es que solo valen $1.38 hasta los siguientes 55 panes y que eso explica por qué el incremento permitido es de 55. Asimismo, se ve que una libra de lechuga vale $8.75. Tal vez convenga buscar a un proveedor urgente de lechuga para incrementar la utilidad de los viernes.

Las respuestas aceptables de estas preguntas son:

1. *¿Cuál es la mejor mezcla de los especiales del viernes por la noche para maximizar el ingreso de Joe Bob?*

20 hamburguesas con queso, 60 albóndigas, 65 tacos y 55 porciones de picadillo.

2. *Si un proveedor ofrece servir un pedido urgente de panes a $1.00 la unidad, ¿vale la pena invertir ese dinero?*

Sí, cada pan adicional ingresa $1.38, por tanto, si cuestan $1, entonces se obtendrán $0.38 netos por pan. No obstante, esto sólo será así hasta 55 panes adicionales.

Problemas

1. Resuelva el problema siguiente con Solver de Excel:

$$\text{Maximizar } Z = 3X + Y.$$
$$12X + 14Y \leq 85$$
$$3X + 2Y \leq 18$$
$$Y \leq 4$$

2. Resuelva el problema siguiente con Solver de Excel:

$$\text{Reducir al mínimo } Z = 2A + 4B.$$
$$4A + 6B \geq 120$$
$$2A + 6B \geq 72$$
$$B \geq 10$$

3. Una empresa manufacturera discontinuó la producción de una línea de artículos que no era rentable. Por ello se creó un exceso considerable de capacidad de producción. La gerencia considera la posibilidad de dedicar este exceso de capacidad a uno o más de tres productos: X_1, X_2 y X_3.

Las horas máquina requeridas por unidad son

	Producto		
TIPO DE MÁQUINA	X_1	X_2	X_3
Molino	8	2	3
Torno	4	3	0
Trituradora	2	0	1

El tiempo disponible de horas máquina por semana es

	Horas máquina por semana
Molinos	800
Tornos	480
Trituradoras	320

Los vendedores estiman que podrán vender todas las unidades de X_1 y X_2 que se fabriquen. Pero el potencial de ventas de X_3 es cuando mucho de 80 unidades por semana.

Las utilidades por unidad para los tres productos son:

	Utilidad por unidad
X_1	$20
X_2	6
X_3	8

a) Plantee las ecuaciones que se pueden resolver para maximizar la utilidad por semana.
b) Resuelva las ecuaciones con Solver de Excel.
c) ¿Cuál es la solución óptima? ¿Qué cantidad de cada producto se debe fabricar y cuál sería la utilidad resultante?
d) ¿Cuál es la situación respecta de los grupos de máquinas? ¿Se utilizaría toda la capacidad o habría tiempo disponible sin usar? ¿X_3 estará a su capacidad máxima de ventas?

e) Suponga que se obtienen 200 horas adicionales por semana de los molinos con tiempo extra. El costo incremental sería $1.50 por hora. ¿Lo recomendaría? Explique cómo obtuvo su respuesta.

4. Se prepara la dieta para los dormitorios de la Universidad de Arizona. El objetivo es alimentar a los estudiantes al costo mínimo, pero la dieta debe contener entre 1 800 y 3 600 calorías. La dieta debe tener un máximo de 1 400 calorías de almidones y un mínimo de 400 de proteína. La dieta constará de dos alimentos: *A* y *B*. El alimento *A* cuesta $0.75 por libra y contiene 600 calorías, 400 de ellas de proteína y 200 de almidones. No se pueden utilizar más de dos libras del alimento *A* por estudiante. El alimento *B* cuesta $0.15 por libra y contiene 900 calorías, de las cuales 700 son de almidones, 100 de proteína y 100 de grasa.

a) Escriba las ecuaciones que representan esta información.

b) Resuelva gráficamente el problema e indique las cantidades de cada alimento que se deben usar.

5. Resuelva el problema 4 con la restricción adicional de que la dieta solo puede contener un máximo de 150 calorías de grasa y que el precio del alimento *A* subió a $1.75 la libra, y el alimento, *B* a $2.50 la libra.

6. Logan Manufacturing quiere mezclar dos combustibles, *A* y *B*, para reducir el costo de sus camiones. Necesita un mínimo de 3 000 galones para sus camiones durante el mes entrante. Tiene una capacidad máxima de almacenamiento de combustible de 4 000 galones. Hay disponibles 2 000 galones del combustible *A* y 4 000 galones del combustible *B*. La mezcla de combustible debe tener un octanaje de un mínimo de 80.

Cuando se mezclan los combustibles, la cantidad obtenida es tan solo igual a la suma de las cantidades que se vierten en la mezcla. El octanaje es el promedio ponderado de los octanos individuales, ponderados en proporción con sus respectivos volúmenes.

Se sabe lo siguiente: el combustible *A* tiene 90 octanos y cuesta $1.20 por galón. El combustible *B* tiene 75 octanos y cuesta $0.90 por galón.

a) Escriba las ecuaciones que expresan esta información.

b) Resuelva el problema con Solver de Excel, y proporcione la cantidad de cada combustible que se usará. Plantee los supuestos necesarios para resolver este problema.

7. Quiere preparar un presupuesto que optimice el uso de una fracción de su ingreso disponible. Cuenta con un máximo de $1 500 al mes para asignar a comida, vivienda y entretenimiento. La cantidad que gaste en alimento y vivienda juntos no debe pasar de $1 000. La cantidad que gaste solo en vivienda no puede pasar de $700. El entretenimiento no puede pasar de $300 al mes. Cada dólar que gaste en comida tiene un valor de satisfacción de 2, cada dólar que gaste en vivienda tiene un valor de satisfacción de 3 y cada dólar que gaste en entretenimiento tiene un valor de satisfacción de 5.

Suponga una relación lineal y determine la asignación óptima de sus fondos con Solver de Excel.

8. La cervecería C-town produce dos marcas: Expansion Draft y Burning River. Expansion Draft tiene un precio de venta de $20 por barril, mientras que Burning River tiene un precio de venta de $8 por barril. La producción de un barril de Expansion Draft requiere 8 libras de maíz y 4 libras de lúpulo. La producción de un barril de Burning River requiere 2 libras de maíz, 6 libras de arroz y 3 libras de lúpulo. La cervecería tiene 500 libras de maíz, 300 libras de arroz y 400 libras de lúpulo. Suponga una relación lineal y use Solver de Excel para determinar la mezcla óptima de Expansion Draft y Burning River que maximice el ingreso de C-town.

9. BC Petrol fabrica tres productos en su planta química en Kentucky: BCP1, BCP2 y BCP3. Estos productos se elaboran con dos procesos de producción llamados zona y hombre. La operación del proceso zona durante una hora cuesta $48 y produce tres unidades de BCP1, una unidad de BCP2 y una unidad de BCP3. La operación del proceso hombre durante una hora cuesta $24 y produce una unidad de BCP1 y una unidad de BCP2. Para satisfacer la demanda de los clientes se debe producir diariamente un mínimo de 20 unidades de BCP1, 10 unidades de BCP2 y 6 unidades de BCP3. Suponga una relación lineal y determine con Solver de Excel la mezcla óptima del proceso zona y del proceso hombre para reducir los costos y satisfacer la demanda diaria de BC Petrol.

10. Una agricultora de Wood County tiene un terreno de 900 acres. Piensa sembrar cada acre con maíz, soya o trigo. Cada acre con maíz produce $2 000 de utilidad, cada acre con soya produce $2 500 de utilidad y cada acre con trigo produce $3 000 de utilidad. Ella tiene 100 trabajadores y 150 toneladas de fertilizante. La tabla que se presenta a continuación muestra los requerimientos por acre para cada una de las tres cosechas. Suponga una relación lineal y determine con Solver de Excel la mezcla óptima para sembrar maíz, soya y trigo para maximizar su utilidad.

	Maíz	**Soya**	**Trigo**
Mano de obra (hombres)	0.1	0.3	0.2
Fertilizante (toneladas)	0.2	0.1	0.4

Bibliografía seleccionada

Anderson, D. R., D. J. Sweeney y T. A. Williams, *An Introduction to Management Science*, 11a. ed., Mason, Ohio, South-Western, 2005.

Kelly, Julia y Curt Simmons, *The Unofficial Guide to Microsoft Excel 2007,* Nueva York, John Wiley & Sons, 2007.

Winston, W. L. y S. C. Albright, *Practical Management Science,* 3a. ed., Mason, Ohio, South-Western, 2006.

APÉNDICE B

Tecnología de operaciones

Gran parte del reciente aumento que registró la productividad se debe a la aplicación de la tecnología de las operaciones. En el campo de los servicios, ésta proviene sobre todo de la tecnología blanda, es decir, procesamiento de información. En el campo de la manufactura se deriva de una combinación de tecnologías blandas y duras (máquinas). Como casi todos los lectores de este libro habrán cubierto las tecnologías de la información en los cursos de servicios de SMI, este suplemento se concentrará en la manufactura.

TECNOLOGÍAS EN EL SECTOR MANUFACTURERO

Algunos adelantos tecnológicos registrados en decenios recientes ejercieron un efecto generalizado en las empresas fabriles de muchas industrias. Dichos avances son el tema de esta sección y se categorizan de dos maneras: sistemas de hardware y de software.

Las tecnologías de hardware por regla general resultan en una mayor automatización de los procesos; desempeñan tareas que implican mucho trabajo y que antes las desempeñaba la mano de obra. Algunos ejemplos de estos tipos importantes de tecnologías de hardware son las máquinas herramienta controladas numéricamente, centros de maquinado, robots industriales, sistemas automatizados para el manejo de materiales y sistemas flexibles de manufactura. Todos ellos son instrumentos controlados por computadora para la fabricación de productos. Las tecnologías basadas en software ayudan al diseño de los productos manufacturados y al análisis y la planificación de las actividades fabriles. Entre estas tecnologías se tiene el diseño asistido por computadora, y la planificación y sistemas de control de la manufactura. En las siguientes secciones se describe cada una de estas tecnologías con mayor detalle.

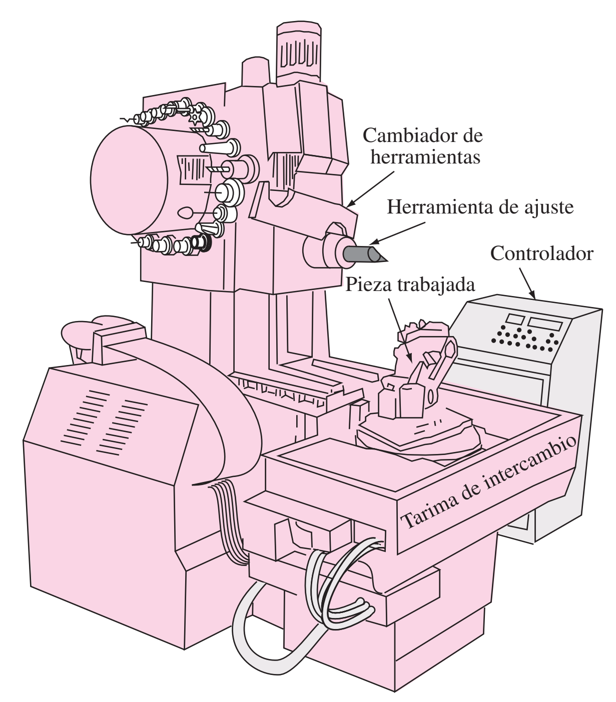
Sistemas de hardware Las *máquinas controladas numéricamente* (*CN*) están compuestas por 1) una máquina herramienta común para girar, perforar o troquelar diferentes tipos de piezas y 2) una computadora que controla la secuencia de procesos que desarrolla la máquina. Las máquinas CN se adoptaron por primera vez en las empresas aeroespaciales de Estados Unidos en la década de 1960, y desde entonces proliferaron en muchas otras industrias. En los modelos más recientes, los ciclos del control de realimentación determinan la posición de la herramienta de la máquina en operación, comparan constantemente la situación actual con la programada y la corrigen cuando se necesita. Con frecuencia esto se llama *control de adaptación*.

Los *centros de maquinado* representan un grado mayor de automatización y complejidad en comparación con las máquinas de CN. Los centros de maquinado no solo ofrecen control automático de una máquina, sino que también llevan muchas herramientas que se cambian de manera automática según la herramienta requerida para cada operación. Además, una sola máquina puede equiparse con un sistema de trenes de enlace de modo que se descargue una pieza terminada y se cargue una pieza sin terminar mientras la máquina trabaja en una pieza. Para visualizar es un centro de maquinado se presenta el diagrama en la ilustración B.1*A*.

Los *robots industriales* se emplean para sustituir a los trabajadores en muchas actividades manuales repetitivas y otras peligrosas, sucias o aburridas. Un robot es una máquina programable que cumple con muchas funciones y que puede equiparse con un actuador final. Algunos ejemplos de actuadores finales son las pinzas para agarrar cosas o herramientas como llave, cautines o rociadores de pintura. La ilustración B.1*B* examina los movimientos humanos que reproduce un robot. Ahora se añadieron a los robots capacidades de coordinación visual, de sensibilidad táctil y de mano a mano. Además, algunos modelos "aprenden" una secuencia de movimientos en un patrón tridimensional. Cuando un trabajador lleva el extremo del brazo del robot por los movimientos requeridos, el robot registra este patrón en su memoria y lo repite cuando

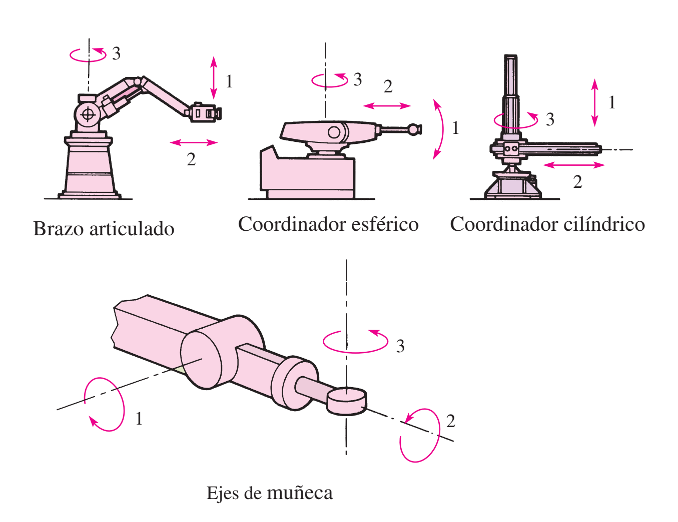
ILUSTRACIÓN B.1

A. Centro de maquinado CNC



Fuente: J. T. Black, The Design of the Factory with a Future, Nueva York, McGraw-Hill, 1991, p. 39. Con autorización de The McGraw-Hill Companies.

B. Ejes móviles comunes de un robot



Fuente: L. V. Ottinger, "Robotics for the IE: Terminology, Types of Robots", Industrial Engineering, noviembre de 1981, p. 30.

se le manda. Los sistemas robóticos más recientes efectúan inspecciones de control de calidad y después transfieren, por vía de robots móviles, esas piezas a otros robots que se encuentran más adelante en la línea de producción. Como muestra el recuadro "Fórmula para evaluar la inversión en un robot", por lo general se justifica el gasto en robots porque ahorran mano de obra.

Fórmula para evaluar la inversión en un robot

Muchas compañías usan la siguiente modificación de la fórmula básica del retorno de la inversión para decidir si deben comprar un robot.

$$P = \frac{I}{L - E + q(L + Z)}$$

donde

P = Periodo del retorno de la inversion en años
I = Total de la inversión de capital requerida en el robot y los accesorios
L = Costos laborales anuales sustituidos por el robot (salario y costo de prestaciones por horas de trabajador multiplicados por el número de turnos por día)
E = Costo anual de mantenimiento del robot
q = Factor de aceleración (o reducción) fraccional
Z = Depreciación anual

Ejemplo

I = \$50 000
L = \$60 000 (dos trabajadores × \$20 000 cada uno, en uno de dos turnos; gastos indirectos de \$10 000 cada uno)
E = \$9 600 (\$2/hora × 4 800 horas/año)
q = 1.5 (robot trabaja 150% más rápido que un trabajador)
Z = \$10 000

luego

$$P = \frac{\$50\,000}{\$60\,000 - \$9\,600 + 1.5(\$60\,000 + \$10\,000)}$$

$= 1/3$ año

Uno de los cuatro grandes centros de maquinado (vea la ilustración B-2) que forman parte del sistema de producción flexible de la planta de Cincinnati Milacron, en Mt. Orab, Ohio.

Los *sistemas para el manejo automatizado de materiales* (MAM) mejoran la eficiencia del transporte, el almacenamiento y la recuperación de materiales. Algunos ejemplos son las bandas computarizadas y los sistemas automatizados de almacenamiento y recuperación (AS/RS), en cuyo caso las computadoras dirigen cargadores automáticos que levantan y colocan los artículos. Los sistemas con vehículos automatizados guiados (AGV, por sus siglas en inglés) dirigen vehículos sin conductor hacia distintos puntos de la planta mediante cables incrustados en el piso. Algunos beneficios de los sistemas MAM son un movimiento más rápido de los materiales, inventarios y espacio de almacén más pequeños, menos daños a productos y mayor productividad laboral.

Estas piezas individuales automatizadas se combinan para formar *células de producción* o incluso *sistemas flexibles de producción* (SFP) completos. Una célula de producción puede constar de un robot o de un centro de maquinado. El robot puede programarse para que introduzca y saque automáticamente piezas del centro de maquinado, lo que permitiría una operación no asistida. Un SFP es un sistema de producción totalmente automatizado que consta de centro de maquinado con carga y descarga automatizada de piezas, un sistema de vehículos automatizados guiados para mover las piezas entre máquinas y otros elementos automatizados que permiten la producción no asistida de piezas. En un SFP se maneja el sistema entero con un sistema de control general de computadora.

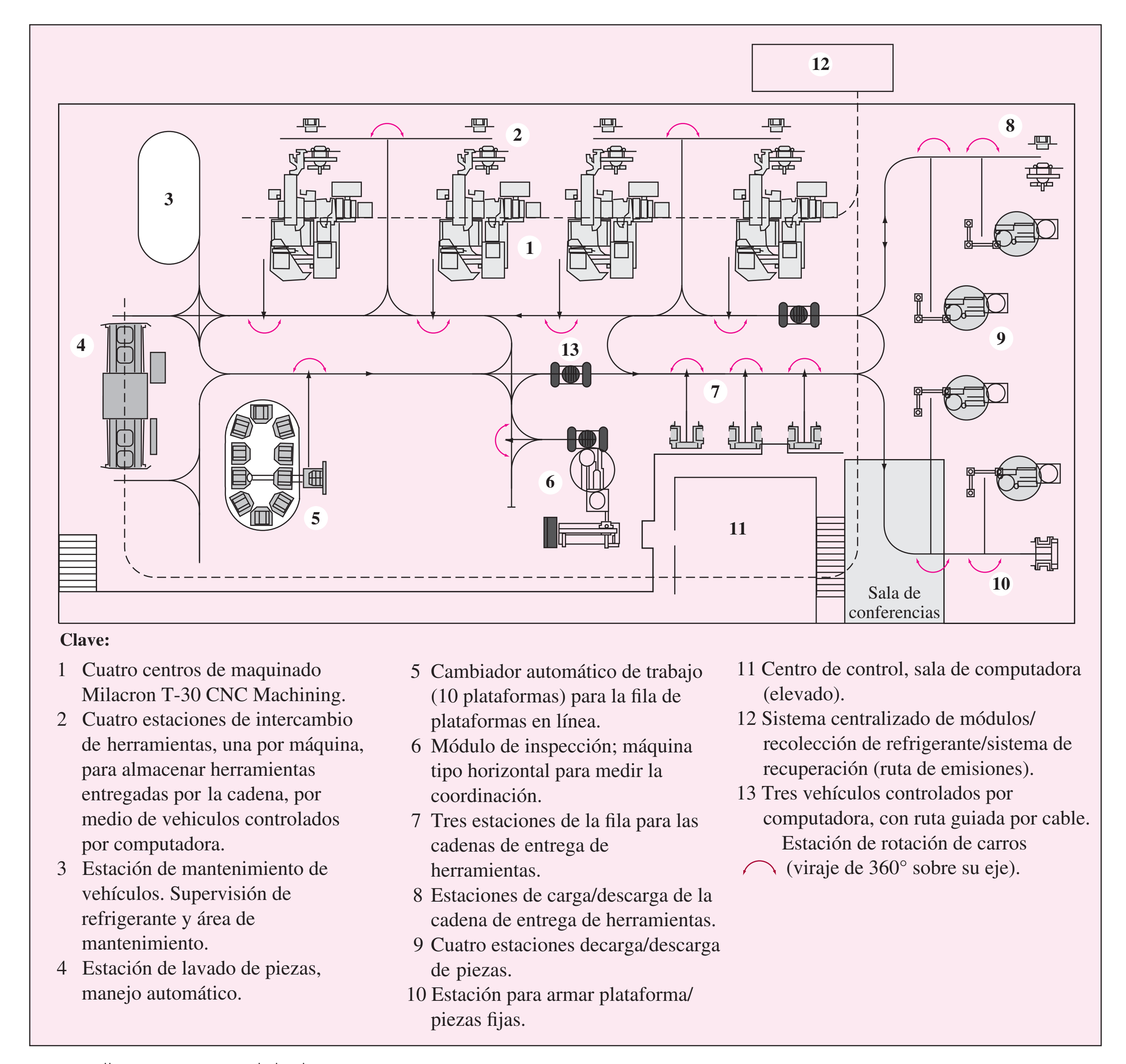
Un buen ejemplo de un SFP son las instalaciones de Cincinnati Milacron, en Mt. Orab, Ohio, en operación desde hace más de 25 años. La ilustración B.2 muestra la distribución de este SFP, en el cual las piezas se cargan sobre aditamentos fijos estándar (llamados “elevadores”) montados sobre plataformas que se mueven por AGV. Los trabajadores cargan y descargan las herramientas y piezas sobre los aditamentos fijos estándar de las estaciones de trabajo, como se ve en el lado derecho del diagrama. La mayor parte de esta carga y descarga se realiza en un solo turno. El sistema opera prácticamente solo durante los otros dos turnos del día.

Dentro del sistema hay espacios para guardar las herramientas (área 7) y otros para las piezas (área 5). Este sistema se diseñó para maquinar grandes fundiciones con que se producen las máquinas herramienta que fabrica Cincinnati Milacron. Los cuatro centros de maquinado CNC (área 1) efectúan el maquinado. Una vez terminado el maquinado de una pieza, se envía a la estación de lavado de piezas (área 4). De ahí, la pieza viaja a la estación automatizada de inspección (área 6) para la revisión de calidad. El sistema es capaz de producir cientos de piezas diferentes.

Sistemas de software El *diseño asistido por computadora* (CAD, por sus siglas en inglés) es un enfoque para el diseño de productos y procesos basado en la potencia de la computadora. El CAD cubre varias tecnologías automatizadas, como las *gráficas de computadora,* para examinar las características visuales de un producto, y la *ingeniería asistida por computadora* (CAE, por sus siglas en inglés) para evaluar sus características de ingeniería. Rubbermaid afinó las dimensiones de sus carritos ToteWheels con el CAD para cumplir con los requerimientos de las líneas aéreas referentes a facturación de equipaje. El CAD también incluye tecnología ligada al diseño de procesos de producción, llamada *planificación de procesos asistidos por computadora* (PPAC), con la cual se diseñan en la computadora los programas de las partes que sirven de instrucciones para las máquinas herramienta controladas por computadora, así como aquellos con los que se establece la secuencia de las piezas que pasan por los centros de maquinado y otros procesos (como lavado e inspección) necesarios para terminar una pieza. Estos programas se llaman *planes del proceso*. Los complejos sistemas del CAD permiten pruebas en pantalla, con lo que reemplazan las primeras fases de pruebas y la modificación de prototipos.

Con el CAD se diseña de todo, desde módulos de computadora hasta papas fritas. Frito-Lay, por ejemplo, diseñó sus papas fritas acanaladas O’Grady de doble grosor con CAD. El problema del diseño de estas papas es que, si no se cortan debidamente, se queman por fuera y quedan un poco crudas por dentro, demasiado crujientes (y se rompen cuando se meten en la bolsa) o muestran otras características que las hacen inservibles para, por ejemplo, mojar en una salsa de guacamole. No obstante, gracias al CAD fue posible determinar matemáticamente el ángulo y

ILUSTRACIÓN B.2 Sistema de producción flexible de Cincinnati Milacron.



Fuente: Folleto para visitantes de la planta.

el número adecuado de papas acanaladas, y el modelo O'Grady pasó su prueba de presión en la famosa "aplastadora" de Frito-Lay y llegó a los anaqueles de la tienda. Sin embargo, a pesar de algunos leales consumidores, O'Grady's se discontinuó en razón de sus escasas ventas.

Ahora con el CAD se diseñan trajes de baño a la medida. Se ingresan las medidas del usuario al programa de CAD, así como el modelo de traje que desea. Junto con el cliente, el diseñador modifica el diseño del traje que aparece en la pantalla de la computadora en una imagen de forma humana. Una vez decidido el diseño, la computadora imprime un patrón, y el traje se corta y cose de inmediato.

Los *sistemas automatizados de planificación y control de la producción* (SAPC) son simples sistemas de información computarizada que ayudan a planificar, programar y vigilar una operación fabril. Estos obtienen información constante del taller de la planta acerca de la situación laboral, llegadas de materiales, etc., y libran las órdenes de compras y de producción. Los complejos sistemas de producción y control de la planificación incluyen el procesamien-

to de las órdenes que ingresan, el control del taller de la planta, las adquisiciones y la contabilidad de costos.

MANUFACTURA INTEGRADA POR COMPUTADORA (CIM)

Todas estas tecnologías automatizadas se reúnen en la *manufactura integrada por computadora* (CIM, por sus siglas en inglés). La CIM es una versión automatizada del proceso de producción, en la cual sus tres funciones básicas (diseño de procesos y productos, planificación y control, y el proceso de producción mismo) se sutituyen con las tecnologías automatizadas que se acaban de describir. Además, los mecanismos tradicionales de integración de la comunicación verbal y escrita se reemplazan por la tecnología de cómputo. Esta producción tan integrada y automatizada también se conoce como *automatización total de la fábrica* y *fábrica del futuro.*

Todas las tecnologías CIM se enlazan mediante una red y una base de datos integrados. Por ejemplo, la integración de datos permite ligar los sistemas de CAD a la *manufactura asistida por computadora* (CAM), la cual está compuesta por programas de control numérico de las piezas y el sistema de planificación; además, el sistema de planificación y control de la producción se liga con los sistemas automatizados de manejo de materiales a efecto de generar la lista de piezas que se tomarán. Así, en un sistema plenamente integrado, las áreas de diseño, prueba, fabricación, montaje, inspección y manejo de materiales no solo están automatizadas sino también están todas integradas entre sí y con la función de planificación y programación de la producción.

Evaluación de las inversiones en tecnología Las tecnologías modernas como los sistemas flexibles de producción o los sistemas computarizados de procesamiento de órdenes representan cuantiosas inversiones de capital. Por lo mismo, antes de adquirir una tecnología, la empresa debe evaluar con sumo cuidado los beneficios financieros y estratégicos que obtendrá de ella. La evaluación de estas inversiones es especialmente difícil porque el propósito de adquirir nuevas tecnologías no es tan solo reducir los costos del trabajo, sino también elevar la calidad y la variedad de los productos, acortar los tiempos de entrega de la producción y aumentar la flexibilidad de las operaciones. Algunos beneficios son intangibles en relación con la reducción de costos del trabajo, por lo que resulta muy difícil justificarlos. Es más, el veloz cambio de la tecnología hace que el equipamiento nuevo quede obsoleto en pocos años, lo que complica aún más la evaluación de costos y beneficios.

Sin embargo, jamás suponga que las nuevas tecnologías de automatización siempre son rentables. Aunque no exista incertidumbre respecto de los beneficios de la automatización, quizá no valga la pena adoptarla. Por ejemplo, muchos analistas supusieron que los sistemas integrados CAD/CAM serían la respuesta a todos los problemas de producción. Sin embargo, varias empresas que invirtieron en estos sistemas perdieron dinero al hacerlo. La idea era sacar a un montón de trabajadores calificados del proceso de preparar las máquinas para productos nuevos o rediseñados y acelerar el proceso. No obstante, tarda menos fabricar piezas complejas en volúmenes pequeños que programar la máquina fresadora, y el tiempo del programador es más caro que el del operador de la fresa. Además, toda la experiencia y el conocimiento especializado que un operador fresador adquiere a lo largo de los años no siempre se transfiere con facilidad a un programa de computadora. El software integrado CAD/CAM alcanza niveles de calidad y rentabilidad suficientes para justificar su uso rutinario incluso en contextos fabriles que manejan gran variedad y poco volumen.

Beneficios de las inversiones en tecnología Los beneficios habituales de adoptar nuevas tecnologías de producción son tangibles e intangibles. Los tangibles se emplean en las formas tradicionales de análisis financiero, como flujo de efectivo descontado, para tomar decisiones de inversión sólidas. Los beneficios específicos se resumen así:

REDUCCIÓN DE COSTOS

Costos laborales. Reemplazar a las personas con robots o permitir que un número menor de trabajadores maneje equipamiento semiautomático.

Costos de materiales. Usar con más eficiencia los materiales existentes o permitir el uso de materiales de gran tolerancia.

Costos de inventarios. Equipamiento que se cambia rápidamente, lo cual permite la administración de un inventario JIT.

Costos de calidad. Inspección automatizada y menor variación en los productos elaborados.

Costos de mantenimiento. Equipamiento que se ajusta solo.

OTROS BENEFICIOS

Mayor variedad de productos. Economías de alcance en razón de sistemas flexibles de producción.

Mejores características de los productos. Capacidad para hacer cosas que no se podrían hacer a mano (p. ej., microprocesadores).

Ciclos más breves. Mayor velocidad para preparar las máquinas o cambiarlas.
Mayor producción de artículos.

Riesgos de adoptar las nuevas tecnologías Si bien la adquisición de nuevas tecnologías trae consigo muchos beneficios, también implica varios tipos de riesgo. Antes de adoptar las tecnologías es preciso evaluar estos riesgos y sopesarlos con los beneficios. A continuación se describen algunos riesgos.

RIESGOS TECNOLÓGICOS
Una compañía que es de las primeras en adoptar una nueva tecnología tiene el beneficio de llevarle la delantera a la competencia, pero también corre el riesgo de adquirir una tecnología que no ha sido probada y que podría traer problemas que alteran las operaciones de la empresa. También está el riesgo de la obsolescencia, sobre todo en el caso de las tecnologías electrónicas, donde el cambio es veloz y el costo fijo de las nuevas tecnologías o el costo de las actualizaciones son elevados. Asimismo, las tecnologías alternativas pueden ser más rentables en el futuro, anulando los beneficios de la tecnología de hoy.

RIESGOS OPERATIVOS
También hay riesgos cuando una empresa aplica una nueva tecnología a sus operaciones. La instalación de una nueva tecnología por lo general produce alteraciones sustantivas, cuando menos en el corto plazo, en la forma de reorganizar toda la planta, la recapacitación del personal, etc. Otros riesgos se deben a las demoras y errores que se introducen en el proceso de producción, y las demandas inciertas y repentinas impuestas a diversos recursos.

RIESGOS PARA LA EMPRESA
Las empresas quizá carezcan de la cultura organizacional y el compromiso de la alta gerencia necesarios para absorber las alteraciones e incertidumbres de corto plazo asociadas a la adopción de una nueva tecnología. En estas organizaciones existe el riesgo de que los empleados o los administradores abandonen rápidamente la tecnología cuando se presentan fallas de corto plazo, o eviten cambios mayores con la sola automatización del antiguo proceso ineficiente de la empresa y, por tanto, no se obtendrán los beneficios de la nueva tecnología.

RIESGOS AMBIENTALES O DE MERCADO
En muchos casos, una empresa puede invertir en una tecnología concreta tan solo para encontrar pocos años después que los cambios en algunos factores del ambiente o del mercado hacen que su inversión no valga nada. Por ejemplo, en cuestiones ambientales, las compañías automovilísticas no han querido invertir en tecnología para fabricar automóviles eléctricos porque no están seguras de cuáles serán las normas de los gobiernos estatales y federales que rijan las emisiones en el futuro, ni del potencial para disminuir las emisiones de los automóviles de gasolina y el potencial para mejoras sustantivas en la tecnología de las baterías. Algunos ejemplos comunes de los riesgos del mercado son las fluctuaciones de los tipos de cambio de las divisas y las tasas de interés.

Resumen

La tecnología ha representado un papel preponderante en el aumento de la productividad de casi todos los países y brindado una ventaja competitiva a las empresas que la adoptaron pronto e

instrumentado con éxito. Si bien todas las tecnologías de la información y la producción descritas aquí es una potente herramienta en sí misma y puede adoptarse por separado, sus beneficios aumentan exponencialmente cuando se integran entre sí. Es el caso particular de las tecnologías MIC.

Con tecnologías más modernas, los beneficios no son del todo tangibles y muchos quizá solo se manifiesten en el largo plazo. Por tanto, los métodos comunes de la contabilidad de costos y el análisis financiero estándar tal vez no capten debidamente todos los posibles beneficios de tecnologías como la MIC. Por tanto, se deben tomar en cuenta los beneficios estratégicos al evaluar estas inversiones. Aún más, como los costos de capital de muchas tecnologías modernas son sustantivos, las diversas actividades ligadas a estas inversiones deben estudiarse con sumo cuidado.

La aplicación de sistemas flexibles de producción o sistemas complejos de apoyo a las decisiones requiere que casi todas las empresas adquieran un importante compromiso. Estas inversiones inclusive podrían estar fuera del alcance de las empresas medianas y pequeñas. No obstante, a medida que las tecnologías sigan mejorando y se adopten más extensamente, sus costos podrían bajar, colocándolas al alcance de las empresas pequeñas. Por la naturaleza compleja e integradora de estas tecnologías, el compromiso total de la alta gerencia y de todos los empleados es fundamental para el éxito de la instrumentación de estas tecnologías.

Preguntas de repaso y análisis

1. ¿Es preciso entrenar a los robots? Explique.
2. ¿Cómo se aplicaría la máxima de las ventas industriales que reza "Uno no vende el producto, vende la compañía" a la tecnología de la manufactura?
3. Enumere tres herramientas analíticas (que no sean el análisis financiero) cubiertas en otros puntos del libro y que sirvan para evaluar las opciones tecnológicas.
4. Belleville, de Ontario, Canadá, es una subsidiaria de Interface Inc., con domicilio en Atlanta, y uno de los fabricantes de pisos comerciales más grandes del mundo, que acredita gran parte de su rentabilidad a la "producción verde", o "ecoeficiencia". ¿Qué supone que quieren decir estas palabras? ¿Cómo pueden estas prácticas generar una reducción de costos?
5. Ofrezca dos ejemplos de cada una de las innovaciones recientes de la tecnología para procesos y productos.
6. ¿Cuál es la diferencia entre una máquina CN y un centro de maquinado?
7. Las grandes compañías automovilísticas consideran invertir millones de dólares en el desarrollo de nuevas tecnologías de procesos y productos para fabricar automóviles eléctricos. Describa brevemente por qué invierten en estas tecnologías. Explique los posibles beneficios y riesgos que implican estas inversiones.

Bibliografía seleccionada

Black, J. T., *The Design of the Factory with a Future,* Nueva York, McGraw-Hill, 1991.

Groover, M. P., *Fundamentals of Modern Manufacturing,* 3a. ed., Nueva York, Wiley, 2006.

Groover, M. P., *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing*, 3a. ed., Upper Saddle River, Nueva Jersey, Prentice-Hall, 2007.

Hyer, N. y U. Wemmerlöv, *Reorganizing the Factory: Competing through Cellular Manufacturing,* Portland, Oregon, Productivity Press, 2002.

Kalpakjian, S. y S. Schmid, *Manufacturing, Engineering & Technology,* 5a. ed., Upper Saddle River, Nueva Jersey, Prentice-Hall, 2005.

Melnyk, S. A. y R. Narasimhan, *Computer Integrated Manufacturing,* Homewood, Illinois, Irwin Professional Publishing, 1992.

Análisis financiero

En este apéndice se revisarán los conceptos y los instrumentos básicos del análisis financiero para la AOCS, entre ellos, los tipos de costos (fijos, variables, a fondo perdido, de oportunidad, evitables), el riesgo y el valor esperado y la depreciación (línea recta, suma de los dígitos de los años, saldo decreciente, saldo doble decreciente y depreciación por uso). También hablaremos del costeo basado en las actividades y de los cálculos del costo de capital. El enfoque se concentra en las decisiones de inversión de capital.

CONCEPTOS Y DEFINICIONES

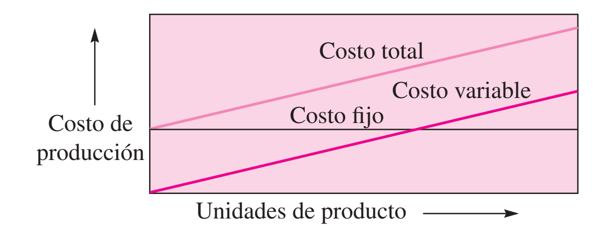
En seguida aparecen algunas definiciones básicas.

Costos fijos Un *costo fijo* es todo egreso que permanece constante, sea cual fuere el nivel de producto. Si bien ningún costo es de verdad fijo, muchos tipos de egresos son prácticamente fijos en el caso de una banda amplia de producto. Algunos ejemplos son la renta, los impuestos sobre patrimonio, casi todos los tipos de depreciación, los pagos de seguros y los sueldos de la alta gerencia.

Costos variables Los *costos variables* son egresos que fluctúan directamente con los cambios en el nivel de producto. Por ejemplo, cada unidad adicional de plancha de acero producida por USx requiere una cantidad específica de materiales y trabajo. El costo incremental de este material y trabajo adicionales se aíslan y asignan a cada unidad de plancha de acero producida. Muchos gastos indirectos también son variables porque las cuentas de luz, los gastos de mantenimiento y demás varían según el nivel de producción.

La ilustración C.1 muestra los costos fijos y variables que componen el costo total. Observe que el costo total aumenta con el mismo ritmo que los costos variables porque los costos fijos son constantes.

ILUSTRACIÓN C.1
Costos fijos y variables que componen el costo total.



Costos a fondo perdido Los *costos a fondo perdido* son egresos o inversiones pasadas que no tienen valor de salvamento o reventa y, por tanto, no se deben tomar en cuenta al considerar las opciones para invertir. Los costos a fondo perdido también pueden ser costos corrientes que, en esencia, son fijos, como el pago de la renta de un edificio. Por ejemplo, suponga que una empresa que fabrica helados ocupa un edificio alquilado y considera la posibilidad de hacer nieves en el mismo edificio. Si la compañía empieza a producir nieves, su contador de costos asignará parte del egreso de la renta a la operación de las nieves. Sin embargo, el pago de renta del edificio no cambiará y, por tanto, no es un egreso relevante que deba considerar al tomar la decisión. La renta se *pierde*, es decir, su monto no cambia, independientemente de la decisión.

Costos de oportunidad El *costo de oportunidad* es el beneficio *que se deja pasar*, o la ventaja *perdida*, en razón de que se escoge una acción en lugar del curso de acción que representa la *opción más conocida.*

Suponga que una empresa tiene $100 000 que quiere invertir y se presentan dos alternativas de riesgo equiparable, cada una de las cuales requiere una inversión de $100 000. La inversión A representa un rédito de $25 000; la inversión B, de $23 000. La inversión A es a todas luces la mejor opción, con un rendimiento neto de $25 000. Si la empresa decide invertir en B y no en A, el costo de oportunidad de B es $2 000, es decir, el beneficio que se deja pasar.

Costos evitables Los *costos evitables* incluyen todo gasto que no se contrae si se hace una inversión, pero que *se debe contraer* si *no* se hace la inversión. Suponga que una compañía tiene un torno de metal estropeado pero que se necesita para las operaciones de la empresa. Como se debe reparar o cambiar, la empresa evitará los costos de reparación si compra un torno nuevo. Los costos evitables disminuyen el costo de una nueva inversión, porque si hace la inversión, estos no se contraen. Los costos evitables son un ejemplo de que sí es posible "ahorrar dinero" cuando se gasta dinero.

Valor esperado El riesgo es inherente a toda inversión porque el futuro nunca se puede prever con entera certidumbre. Algunas técnicas matemáticas, como el valor esperado, sirven para afrontar esta incertidumbre. El valor esperado es el resultado que se espera de algo multiplicado por la probabilidad de que ocurra. Recuerde que en el ejemplo anterior el resultado esperado de la alternativa A era de $25 000, y el de B, de $23 000. Suponga que la probabilidad de que A ocurra en efecto es de 80% y la probabilidad de B es de 90%. Los valores esperados de las alternativas se determinan como sigue:

$$\text{Resultado esperado} \times \text{Probabilidad de que el resultado real sea el esperado} = \text{Valor esperado}$$

Inversión A: $25 000 × 0.80 = $20 000
Inversión B: $23 000 × 0.90 = $20 700

Ahora parece que la inversión B es una mejor opción, con una ventaja neta de 700 dólares sobre A.

Vida económica y obsolescencia Cuando una empresa invierte en un activo que produce ingresos, estima la vida productiva de ese activo. Para efectos contables, el activo se deprecia durante ese periodo. Se supone que el activo cumplirá con su función durante ese tiempo y, después, se considerará obsoleto o desgastado, y será necesario reemplazarlo. Esta visión de la vida del activo rara vez coincide con la realidad.

Suponga que se compra una máquina con una vida productiva esperada de 10 años. Si en un punto cualquiera de los siguientes 10 años se desarrollara una máquina que puede ejecutar la misma actividad con mayor eficiencia o economía, la máquina antigua resultará obsoleta. No importará si está "desgastada" o no.

La *vida económica* de una máquina se entiende como el periodo durante el cual representa el mejor método para desempeñar su función. Cuando se desarrolla un método mejor, la máquina habrá quedado obsoleta. Por tanto, el *valor en libros* de una máquina puede ser una cifra sin sentido.

Depreciación La depreciación es un método para asignar los costos del equipo de capital. El valor de un activo de capital cualquiera (inmuebles, maquinaria, etc.) disminuye a medida que transcurre su vida útil. La palabra *amortización* con frecuencia se usa con el mismo significado que *depreciación.* Sin embargo, por convención, *depreciación* se refiere a la asignación de costos debida al deterioro material o funcional de los activos *tangibles* (materiales), como inmuebles o equipamiento, mientras que *amortización* se refiere a la asignación de costos a lo largo de la vida útil de los activos *intangibles,* como patentes, arrendamientos, franquicias y plusvalía.

Los procedimientos de la depreciación tal vez no reflejen el verdadero valor de un activo en ninguno de los puntos de su vida porque la obsolescencia puede ocasionar, en cualquier momento, una enorme diferencia entre el valor real y el valor en libros. Además, como las tasas de depreciación afectan sustantivamente los impuestos, una empresa puede optar por un método concreto entre varias opciones y tomar más en cuenta su efecto en los impuestos que su capacidad para hacer que el valor en libros de un activo refleje su verdadero valor de reventa.

A continuación se describen cinco métodos comunes de depreciación.

MÉTODO DE LÍNEA RECTA

Con este método se reduce el valor de un activo en montos anuales uniformes a lo largo de su vida útil estimada. La fórmula general es:

$$\text{Monto anual de la depreciación} = \frac{\text{Costo} - \text{Valor de salvamento}}{\text{Vida útil estimada}}$$

Una máquina que cuesta $10 000, con un valor de salvamento estimado de $0 y una vida estimada de 10 años, se depreciaría con un ritmo de $1 000 por año en cada uno de los 10 años. Si su valor estimado de salvamento al término de los 10 años es de $1 000, el cargo anual por depreciación será:

$$\frac{\$10\,000 - \$1\,000}{10} = \$900$$

Método de la suma de los dígitos de los años (SDA)

El objeto del método SDA es reducir el valor en libros de un activo rápidamente en los primeros años de su vida y con un ritmo menor en los años posteriores.

Suponga que la vida útil estimada es de cinco años. Los números suman 15: 1 + 2 + 3 + 4 + 5 = 15. Por tanto, se deprecia el activo 5 ÷ 15 pasado el primer año, 4 ÷ 15 pasado el segundo año, y así sucesivamente hasta 1 ÷ 15 el último año.

Método del saldo decreciente

Este método también produce una depreciación acelerada. Se disminuye el valor del activo al reducir su valor en libros un porcentaje constante cada año. El porcentaje escogido suele ser uno que solo reduce el valor en libros al valor de salvamento al término de la vida estimada del activo. Sea como fuere, nunca se debe reducir el activo por debajo de su valor estimado de salvamento. La normatividad en materia impositiva controla la aplicación del método del saldo decreciente y los porcentajes permitidos. En la siguiente tabla se usa el ejemplo anterior como ilustración simplificada, con una tasa de 40%, escogida arbitrariamente. Observe que la depreciación se basa en el costo completo y *no* en el costo menos el valor de salvamento.

Año	Tasa de depreciación	Valor inicial en libros	Cargo por depreciación	Depreciación acumulada	Valor final en libros
1	0.40	$17 000	$6 800	$ 6 800	$10 200
2	0.40	10 200	4 080	10 880	6 120
3	0.40	6 120	2 448	13 328	3 672
4	0.40	3 672	1 469	14 797	2 203
5		2 203	203	15 000	2 000

En el quinto año, la reducción de 40% de su valor en libros habrá provocado que caiga por debajo del valor de salvamento. Por tanto, el activo solo se depreció 203 dólares, el cual disminuyó su valor en libros al valor de salvamento.

Método de saldo doble decreciente

De nuevo, para efectos fiscales, el método de saldo doble decreciente ofrece una mayor depreciación al principio del plazo de vida. Este método aplica un porcentaje que representa el doble de la línea recta del plazo de vida del bien, pero al costo original subvaluado. El método es igual que el del saldo decreciente, pero el término *saldo doble decreciente* significa que la tasa de línea recta es el doble. Por tanto, un equipo con un plazo de vida de 10 años tendría una tasa de depreciación en línea recta de 10% al año, y una tasa de saldo doble decreciente (aplicada al monto subvaluado) de 20% al año.

Método de depreciación por uso

El objeto de este método es depreciar una inversión de capital en proporción con su uso. Por ejemplo, se aplicaría a una máquina que efectúa la misma operación muchas veces. La vida de la máquina no se estima en términos de años, sino del número total de operaciones que razonablemente cabe esperar que efectúe antes de que se desgaste. Suponga que una troqueladora de metal tiene una vida estimada de un millón de troquelados y cuesta $100 000. Así, el cargo por depreciación por troquelado es de $100 000 ÷ 1 000 000, o $0.10. Con un valor de salvamento supuesto de $0, la tabla siguiente muestra los cargos por depreciación:

Año	Total de troquelados	Costo por troquelado	Cargo anual por depreciación	Depreciación acumulada	Valor final en libros
1	150 000	0.10	$15 000	$15 000	$85 000
2	300 000	0.10	30 000	45 000	55 000
3	200 000	0.10	20 000	65 000	35 000
4	200 000	0.10	20 000	85 000	15 000
5	100 000	0.10	10 000	95 000	5 000
6	50 000	0.10	5 000	100 000	0

El método de depreciación por uso pretende dirigir los cargos por depreciación al uso real y, por lo mismo, coordinar los cargos de egresos con el producto productivo con una mayor precisión. Asimismo, como el valor de reventa de la máquina se relaciona con lo que le resta de vida productiva, se tiene la esperanza que el valor en libros se aproxime al valor de reventa. Desde luego, existe el peligro de que los avances tecnológicos provoquen que la máquina quede obsoleta, en cuyo caso el valor en libros no reflejará el valor real.

Costeo basado en actividades

Para saber cuánto cuesta fabricar cierto producto o brindar un servicio se debe usar algún método para asignar los costos indirectos a los productos, con base en dólares u horas de mano de obra directa. Al dividir el total de los costos indirectos estimados entre el total de horas de mano de obra directa presupuestadas se establece una tasa para los gastos indirectos. El problema de este enfoque es que la mano de obra directa, como porcentaje del total de costos, bajó drásticamente en los pasados 10 años. Por ejemplo, la introducción de tecnología avanzada para la manufactura y otras mejoras en la productividad provocaron que la mano de obra directa apenas represente entre 7 y 10% del total de los costos de producción en muchas industrias. Por tanto, en algunas plantas muy automatizadas se encuentran tasas de costos indirectos de 600% o incluso 1 000%.

Esta práctica contable tradicional de asignar los costos indirectos a la mano de obra directa puede provocar decisiones de inversión dudosas; por ejemplo, se puede optar por procesos automatizados en lugar de procesos con mucha mano de obra a partir de una comparación de los costos proyectados. Por desgracia, los costos indirectos no desaparecen cuando el equipo queda instalado, y los costos generales en realidad podrían ser más bajos con el proceso que requiere mucha mano de obra. También puede provocar un desperdicio de esfuerzos porque se requiere una cantidad enorme de tiempo para seguir la pista de las horas de mano de obra directa. Por ejemplo, una planta dedicó 65% de los costos de cómputo a rastrear información acerca de las transacciones de la mano de obra directa a pesar de que solo representaba 4% del total de los costos de producción.[1]

Se han desarrollado técnicas de costos basadas en las actividades para aliviar estos problemas mediante la afinación del proceso de asignación de los costos indirectos de modo que refleje en forma más directa las proporciones reales de costos indirectos que consume la actividad productiva. Primero se identifican los factores causales, conocidos como *impulsores de los costos*, y se usan como medio para asignar los costos indirectos. Estos factores pueden incluir horas máquina, camas ocupadas, tiempo de computadora, horas de vuelo o kilómetros de carretera. La exactitud de la asignación de los costos indirectos depende, evidentemente, de elegir los impulsores adecuados de los costos.

El costeo basado en actividades implica un proceso de asignación en dos etapas. La primera etapa asigna los costos indirectos a *conjuntos de costos de actividades*. Estos conjuntos representan actividades como preparar máquinas, librar órdenes de compra e inspeccionar piezas. En la segunda etapa se asignan los costos de estos conjuntos a las actividades con base en el número o el monto de las actividades correspondientes del conjunto necesarias para su terminación. La ilustración C.2 compara la contabilidad tradicional de costos con el costeo basado en actividades.

[1] T. Johnson y R. Kaplan, *Relevance Lost: The Rise and Fall of Management Accounting,* Boston, Harvard Business School Press, 1987, p. 188.

ILUSTRACIÓN C.2 Costeos tradicional y basado en actividades.

ILUSTRACIÓN C.3 Enfoque de la asignación de costos indirectos por actividad.

Datos básicos

Actividad	Costos rastreables	Casos o transacciones: Total	Producto A	Producto B
Preparación de máquinas	$230 000	5 000	3 000	2 000
Inspecciones de calidad	160 000	8 000	5 000	3 000
Órdenes de producción	81 000	600	200	400
Horas-máquina trabajadas	314 000	40 000	12 000	28 000
Recepción de materiales	90 000	750	150	600
Número de unidades producidas		25 000	5 000	20 000
	$875 000			

Tasas de costos indirectos por actividad

Actividad	(*a*) Costos rastreables	(*b*) Total de costos o transacciones	(*a*) ÷ (*b*) Tasa por caso o transacción
Preparación de máquinas	$230 000	5 000	$46/preparación
Inspecciones de calidad	160 000	8 000	$20/inspección
Órdenes de producción	81 000	600	$135/orden
Horas-máquina trabajadas	314 000	40 000	$7.85/hora
Recepción de materiales	90 000	750	$120/recepción

Costos indirectos por unidad de producto

	Producto A		Producto B	
	Casos o transacciones	Monto	Transacciones	Monto
Preparación máquinas, a $46/preparación	3 000	$138 000	2 000	$92 000
Inspecciones de calidad, a $20/inspección	5 000	100 000	3 000	60 000
Órdenes de producción, a $135/orden	200	27 000	400	54 000
Horas-máquina trabajadas, a $7.85/hora	12 000	94 200	28 000	219 800
Recepción de materiales, a $120/recepción	150	18 000	600	72 000
Total de costos indirectos asignados		$377 200		$497 800
Número de unidades producidas		5 000		20 000
Costos indirectos por unidad, $\frac{\text{Total de costos indirectos}}{\text{Núm. de unidades}}$		$75.44		$24.89

Vea R. Garrison, *Managerial Accounting*, 12a. ed., Nueva York, McGraw-Hill, 2007.

Considere el ejemplo del costeo basado en actividades de la ilustración C.3. Dos productos, A y B, se producen con el mismo número de horas de mano de obra directa. El mismo número de horas de mano de obra directa produce 5 000 unidades del producto A y 20 000 unidades del producto B. Si se aplica el costeo tradicional, se cargarían costos indirectos idénticos a cada producto. Al aplicar el costeo basado en actividades, los costos rastreables se asignan a actividades específicas. Como cada producto requirió una cantidad distinta de transacciones, se asignan distintos montos de costos indirectos a estos productos de los conjuntos.

Como ya se mencionó, el costeo basado en actividades supera el problema de la distorsión de costos porque crea un conjunto de costos para cada actividad o transacción que se identifica como un impulsor de costos y asigna costos indirectos a productos o trabajos con base en el número de actividades independientes requeridas para su terminación. Así, en la situación anterior, se asignaría al producto de bajo volumen el grueso de los costos de preparación de máquinas, órdenes de compra e inspecciones de calidad, lo que muestra que sus costos por unidad son elevados en comparación con los del otro producto.

Por último, el costeo basado en actividades a veces se conoce como *costeo de transacciones*. Este enfoque de las transacciones da origen a otra gran ventaja en comparación con otros métodos para costear: mejora la posibilidad de seguir el rastro de los costos indirectos y, por tanto, produce datos de costos por unidad más exactos para uso de los administradores.

EFECTOS DE LOS IMPUESTOS

Las tasas fiscales y los métodos para aplicarlas cambian ocasionalmente. Cuando los analistas evalúan las propuestas de inversión, las consideraciones fiscales suelen ser el factor decisivo porque los egresos por depreciación afectan directamente el ingreso gravable y, por tanto, la utilidad. La capacidad para aplicar la depreciación en los primeros años proporciona una fuente adicional de fondos para invertir. Antes de 1986, las empresas podían emplear un crédito fiscal para la inversión, lo cual les permitía reducir directamente sus obligaciones fiscales. Pero las leyes fiscales cambian, así que es crucial estar al tanto de las leyes fiscales actuales y tratar de prever los cambios futuros que podrían afectar las inversiones y procedimientos contables actuales.

ESCOGER ENTRE VARIAS PROPUESTAS PARA INVERTIR

La decisión de invertir capital ahora está muy racionalizada, como dejan ver las distintas técnicas disponibles para su resolución. A diferencia de las decisiones de marketing o de precios, la decisión de invertir capital suele tomarse con un mayor grado de confianza porque las variables que afectan la decisión son relativamente bien conocidas y se cuantifican con buena exactitud.

Las decisiones de invertir se pueden agrupar en seis categorías generales:

1. Adquirir equipo o instalaciones nuevos.
2. Reemplazar equipo o instalaciones existentes.
3. Decidir si comprar o fabricar.
4. Decidir si comprar o arrendar.
5. Decidir si cerrar temporalmente la planta o abandonarla.
6. Sumar o eliminar un producto o una línea de productos.

Las decisiones de invertir se toman considerando la tasa más baja aceptable del rendimiento de la inversión. Como punto de partida, se puede considerar que la tasa de rendimiento más baja aceptable es el costo del capital de inversión necesario para cubrir el egreso. Sin duda, no se hará una inversión si no reditúa cuando menos el costo del capital.

Por lo general, las inversiones se clasifican por orden del rendimiento que producen por encima del costo del capital. De tal suerte, un negocio que solo tiene fondos limitados para invertir puede escoger opciones de inversión que generen el rendimiento neto más alto (*rendimiento neto* es la ganancia que produce una inversión tras descontar, de los ingresos brutos, el costo de los fondos con que se financió la inversión). En general, no se debe hacer una inversión a no ser que el rendimiento de sus fondos exceda el costo marginal del capital invertido (el *costo marginal* es el costo incremental de cada nueva adquisición de fondos de fuentes externas).

Determinar el costo del capital El costo del capital se calcula a partir del promedio ponderado de los costos del activo y el pasivo contables. Este promedio varía según la estrategia de financiamiento de la empresa. Las fuentes más comunes de financiamiento son deudas de corto plazo, deudas de largo plazo y valores accionarios. Un crédito bancario es un ejemplo de una deuda de corto plazo. Los bonos normalmente representan una deuda de largo plazo. Por último, las acciones son una forma común de financiamiento de valores. A continuación se presenta un ejemplo breve de cada forma de financiamiento y después se muestra cómo se combinan para encontrar el costo promedio ponderado del capital.

El costo de las deudas de corto plazo depende de la tasa de interés sobre el crédito y si es descontado o no. Recuerde que, para una empresa, el interés representa un gasto deducible de impuestos.

$$\text{Costo de deuda de corto plazo} = \frac{\text{Intereses pagados}}{\text{Réditos recibidos}}$$

Si un banco descuenta un préstamo, entonces se resta el interés del valor nominal del crédito para obtener el rédito. Cuando el banco requiere un saldo compensatorio (es decir, el banco retiene un porcentaje del valor nominal del préstamo en garantía), los réditos también disminuyen. En los dos casos, la tasa de interés (efectiva o real) sobre el préstamo es más alta que la tasa nominal de interés porque los réditos recibidos por concepto del préstamo suman menos que el monto (valor nominal) del crédito.

EJEMPLO DE UNA DEUDA DE CORTO PLAZO

Una empresa contrata un crédito de \$150 000 a un año a 13%. El banco descuenta el préstamo y requiere un saldo compensatorio de 10%. La tasa de interés efectiva se calcula así:

$$\frac{13\% \times \$150\,000}{\$115\,500} = \frac{\$19\,500}{\$115\,500} = 16.89\%$$

Los réditos recibidos suman:

Valor nominal del crédito	\$150 000
Menos interés	(19 500)
Saldo compensatorio (10% × \$150 000)	(15 000)
Rédito	\$115 500

Observe que el costo efectivo del crédito es sustantivamente mayor que la tasa de interés estipulada.

La deuda de largo plazo por lo normal se obtiene mediante la venta de bonos de la compañía. El costo real de los bonos se obtiene al calcular dos tipos de rendimiento: el rendimiento simple (nominal) y el rendimiento al vencimiento (tasa efectiva de interés). El primero implica una fácil aproximación, pero el segundo es más exacto. La tasa nominal de interés es igual al interés pagado sobre el valor nominal del bono (o el valor al vencimiento) y siempre se presenta en términos anuales. Por lo general, los bonos se emiten en denominaciones de 1 000 dólares y pueden venderse sobre su valor nominal (con una prima) o debajo del mismo (con un descuento, llamado descuento sobre la emisión original, o DEO). El bono se vende con descuento cuando la tasa de interés está por debajo de la tasa corriente de mercado. En este caso, el rendimiento será mayor que la tasa nominal de interés. En el caso de los bonos emitidos con prima ocurre lo contrario.

El precio de emisión de un bono es su valor par (o nominal) multiplicado por la prima (o descuento).

$$\text{Rendimiento simple} = \frac{\text{Interés nominal}}{\text{Precio de emisión del bono}}$$

$$\text{Rendimiento al vencimiento} = \frac{\text{Interés nominal} + \dfrac{\text{Descuento (o prima)}}{\text{Años}}}{\dfrac{\text{Precio de emisión} + \text{Valor al vencimiento}}{2}}$$

Ejemplo de una deuda de largo plazo

Una empresa emite un bono de $400 000 a 10 años, a 12%, con un valor nominal de 97%. Los cálculos del rendimiento son:

$$\text{Pago nominal anual} = 12\% \times \$400\,000 = \$48\,000$$

$$\text{Réditos del bono} = 97\% \times \$400\,000 = \$388\,000$$

$$\text{Descuento del bono} = 3\% \times \$400\,000 = \$12\,000$$

$$\text{Rendimiento simple} = \frac{12\% \times \$400\,000}{97\% \times \$400\,000} = \frac{\$48\,000}{\$388\,000} = 12.4\%$$

$$\text{Rendimiento al vencimiento} = \frac{\$48\,000 + \dfrac{\$12\,000}{10}}{\dfrac{\$388\,000 + \$400\,000}{2}} = \frac{\$48\,000 + \$1\,200}{\$394\,000} = 12.5\%$$

Observe que como los bonos se vendieron con descuento, el rendimiento excede la tasa nominal de interés (12%). La empresa puede deducir de impuestos el interés sobre el bono.

El costo real de los valores accionarios (acciones) se presenta en forma de dividendos, que la compañía no puede deducir de impuestos.

$$\text{Costo de acciones comunes} = \frac{\text{Dividendos por acción}}{\text{Valor por acción}} + \text{Tasa de crecimiento de los dividendos}$$

En este caso, el valor por acción es igual al precio de mercado por acción menos los costos de flotación (es decir, el costo por emitir los valores, como honorarios de agentes y costos de impresión). Cabe señalar que esta valuación no considera lo que el inversionista espera de su apreciación del mercado. Esta expectativa se basa en el crecimiento esperado de las ganancias por acción y el riesgo relativo que se asume al comprar las acciones. El modelo de precios de los activos de capital (MPAC) sirve para captar este efecto.[2]

Ejemplo del costo de las acciones comunes

El dividendo por acción para una empresa es de $10, el valor neto por acción es $70 y la tasa de crecimiento del dividendo, de 5%.

$$\text{Costo de las acciones} = \frac{\$10}{\$70} + 0.05 = 19.3\%$$

Para calcular el promedio ponderado del costo del capital se considera el porcentaje del total de capital que se proporcionó para cada opción de financiamiento. Luego se calcula el costo, después de impuestos, de cada opción de financiamiento. Por último, se ponderan estos costos en proporción con su uso.

Ejemplo del cálculo del promedio ponderado del costo del capital

Considere una empresa con las siguientes cifras en sus estados financieros:

Préstamo bancario de corto plazo (13%)	$1 millón
Bonos pagaderos (16%)	$4 millones
Acciones comunes (10%)	$5 millones

En el caso del ejemplo, suponga que cada porcentaje mostrado representa el costo de la fuente del capital. Además, se tiene que considerar la tasa fiscal de la empresa, porque los intereses pagados sobre los bonos y sobre el préstamo de corto plazo son deducibles de impuestos. Suponga que la tasa fiscal de la compañía es de 40%.

[2] Muchos libros de texto incluyen una explicación de los precios de los activos de capital; consulte, por ejemplo, Z. Bodie, A. Kane y A. Marcus, *Investments*, 6a. ed., Nueva York, McGraw-Hill/Irwin, 2004.

	Porcentaje	Costos después de impuestos	Costo promedio ponderado
Préstamo bancario de corto plazo	10	13% × 60% = 7.8%	.78%
Bonos pagaderos	40	16% × 60% = 9.6%	3.84%
Acciones comunes	50	10%	5%
Total	100		9.62%

No olvide que en esta sección se hicieron muchos supuestos para estos cálculos. Cuando se aplican estas ideas a una empresa específica, muchos de estos supuestos pueden cambiar. Sin embargo, los conceptos básicos son los mismos: recuerde que la meta es tan solo calcular el costo del capital, después de impuestos, usado por la compañía. Se demostró el cálculo del costo del capital para la empresa entera, si bien para el cálculo con frecuencia solo se usa el capital que se emplea para un proyecto específico.

Efectos de la tasa de interés Hay dos formas básicas de contabilizar los efectos de la acumulación de intereses. Una es calcular el monto total creado durante el periodo futuro como un *valor compuesto.* La otra es eliminar el efecto de la tasa de interés con el transcurso del tiempo, reduciendo todas las sumas futuras a dólares actuales, o a *valor presente.*

Valor compuesto de un monto único Se cuenta que Albert Einstein dijo que el interés compuesto es la octava maravilla del mundo. Después de estudiar esta sección que muestra los efectos del drástico aumento del interés compuesto en el largo plazo, tal vez quiera proponer al gobierno que haga una nueva reglamentación. Los padres de un recién nacido podrían colocar, por decir algo, $1 000 en un fondo de pensión para que la criatura lo retire cuanto cumpla 65 años. Esto reduciría la presión sobre la seguridad social y otros planes de pensiones de los gobiernos federal y estatales. Si bien la inflación disminuiría el valor sustantivamente, de cualquier manera quedaría mucho. Con un rendimiento de 14% sobre la inversión, los $1 000 subirían a 500 000 dólares después de restar $4.5 millones por concepto de inflación. No obstante, el monto se habrá multiplicado 500 veces (muchos fondos mutualistas de hoy registran un desempeño de largo plazo superior a 14% anual).

Las hojas de cálculo y las calculadoras facilitan mucho estas operaciones. El recuadro "Cómo usar una hoja de cálculo" muestra las funciones financieras más útiles. No obstante, muchas personas aún recurren a las tablas de los valores compuestos. Con la tabla I.1 del apéndice I (monto compuesto de $1), por ejemplo, verá que el valor de $1, con un interés de 10%, será de $1.331 a los 3 años. Si se multiplica esta cifra por $10 se obtendrán $13.31.

Valor compuesto de una anualidad Una *anualidad* es el pago de un monto constante, cada año, durante un número determinado de años. Por lo general, la anualidad se recibe al término del periodo y no genera intereses durante ese periodo. Por tanto, una anualidad de $10 a 3 años produciría $10 al término del primer año (lo que permitiría que los $10 generaran intereses si se invirtiesen durante los 2 años restantes), $10 al término del segundo año (lo que permitiría que los $10 generaran intereses durante el año restante) y $10 al término del tercer año (sin quedar más tiempo para generar intereses). Si los réditos de la anualidad estuvieran en una cuenta de ahorro en el banco, con un interés de 5%, el valor total o compuesto de los $10, a 5%, para los 3 años sería:

Año	Pago al término del año		Factor del interés compuesto $(1 + i)^n$		Valor al término del tercer año
1	$10.00	×	$(1 + 0.05)^2$	=	$11.02
2	10.00	×	$(1 + 0.05)^1$	=	10.50
3	10.00	×	$(1 + 0.05)^0$	=	10.00
					$31.52

Cómo usar una hoja de cálculo

Esperamos que usted haga estos cálculos con un programa de hoja de cálculo. Si bien la computadora facilita estos cálculos, es importante que entienda lo que hace la máquina. Es más, debe comprobar los cálculos a mano para cerciorarse de que planteó las fórmulas correctamente en la hoja de cálculo. Se cuentan muchas historias de decisiones equivocadas, con base en una hoja de cálculo con errores, que tuvieron terribles consecuencias.

Para referencia rápida, a continuación se presentan las funciones financieras que encontrará más útiles. Se tomaron de las pantallas de ayuda de Excel de Microsoft.

PV(tasa, nper, pmt): Produce el valor presente de una inversión. El valor presente es el monto total del valor actual de una serie de pagos futuros. Por ejemplo, cuando usted obtiene un crédito, el monto del préstamo es su valor presente para el prestamista. La tasa es la tasa de interés por periodo. Por ejemplo, si usted obtiene un crédito para adquirir un auto con una tasa de interés de 10% anual y pagos mensuales, su tasa de interés mensual es 10%/12, o .83%. En la parte de la fórmula correspondiente a la tasa usted escribiría 10%/12, o 0.83%, o 0.0083. Nper se refiere al número total de periodos de pago de la anualidad. Por ejemplo, si usted recibe un préstamo a 4 años para el auto y efectúa pagos mensuales, su crédito tiene 4*12 (o 48) plazos. Usted escribiría 48 en la parte de la fórmula correspondiente a nper. Pmt es el pago que se efectúa en cada plazo y no cambia a lo largo de la vida de la anualidad. Por lo general esta cifra incluye el principal y los intereses, pero no otros cargos ni impuestos. Por ejemplo, el pago mensual sobre un crédito de $10 000 a 4 años para comprar un auto a 12% será $263.33. Usted escribiría 263.33 en la parte de la fórmula correspondiente al pmt.

FV(tasa, nper, pmt): Presenta el valor futuro de una inversión basada en pagos periódicos constantes y una tasa de interés constante. La tasa se refiere a la tasa de interés por periodo. Nper se refiere al número total de plazos de pago de una anualidad. Pmt es el pago que se efectúa en cada periodo; no cambia durante la vida de la anualidad. Por lo general, el pmt contiene el principal y los intereses, pero ningún otro cargo ni impuesto.

NPV (tasa, valor1, valor2,...): Produce el valor presente neto de una inversión basado en una serie de flujos monetarios periódicos y una tasa de descuento. El valor presente neto de una inversión es el valor actual de una serie de pagos futuros (valores negativos) y de ingresos (valores positivos). La tasa es la tasa de descuento a lo largo de un periodo. Valor1, valor2, ... deben tener plazos iguales y presentarse al término de cada periodo.

IRR (valores): Produce la tasa interna de rendimiento de una serie de flujos monetarios representados por los números de los valores (más adelante se definen los valores). Estos flujos monetarios no necesitan ser iguales, como en el caso de una anualidad. La tasa interna de rendimiento es la tasa de interés recibida por una inversión compuesta por pagos (valores negativos) e ingresos (valores positivos) que ocurren en periodos regulares. *Valores* es un orden o una referencia a celdas que contienen los números para los que usted quiere calcular la tasa interna de rendimiento. Los valores deben contener un mínimo de un valor positivo y uno negativo para poder calcular la tasa interna de rendimiento. IRR usa el orden de los valores para interpretar el orden de los flujos monetarios. Asegúrese de anotar los valores de los pagos y los ingresos por orden conforme a la secuencia que desee.

La fórmula general para encontrar el valor compuesto de una anualidad es

$$S_n = R[(1 + i)^{n-1} + (1 + i)^{n-2} + \cdots + (1 + i)^1 + 1]$$

donde

S_n = Valor compuesto de una anualidad
R = Pagos periódicos en dólares
n = Duración de la anualidad en años

Si se aplica la fórmula al ejemplo anterior se obtiene

$$\begin{aligned} S_n &= R[(1 + i)^2 + (1 + i)1 + 1] \\ &= \$10[(1 + 0.05)^2 + (1 + 0.05) + 1] = \$31.52 \end{aligned}$$

En la lista de la tabla I.2 del apéndice I, el factor del valor compuesto de $1 a 5% a 3 años es 3.152. Si multiplica $10 por este factor se obtienen $31.52.

De manera semejante al ejemplo anterior sobre la inversión para la jubilación, piense en los efectos benéficos de invertir $2 000 al año, pero empezando a los 21 años de edad. Suponga que hoy puede adquirir bonos AAA, que rinden 9%. En la tabla I.2 del apéndice I verá que a los 30

años (51 de edad) su inversión vale 136.3 multiplicado por $2 000, o $272 600. Catorce años después (a los 65 de edad) valdría $963 044 (con una calculadora de mano, porque la tabla solo cubre 30 años, y a partir del supuesto de que depositó $2 000 al término de cada año). ¿Pero qué joven de 21 años piensa en la jubilación?

Valor presente de un solo pago a futuro Con los valores compuestos se determina el valor futuro cuando transcurre un periodo específico; es decir, es el procedimiento del valor presente (VP) pero al revés. Con ellos se determina el valor corriente de un monto o una serie de montos que se espera recibir en el futuro. Casi todas las técnicas para la decisión de invertir emplean el concepto del valor presente y no de los valores compuestos. Como las decisiones que afectan el futuro se toman en el presente, es más aconsejable convertir las ganancias futuras a su valor presente en el momento de decidir. De tal suerte, se tendrá una mejor perspectiva de las opciones de la inversión en términos de dinero actual.

Un ejemplo dejará más claro lo anterior. Si un tío rico le diera a elegir entre regalarle $100 hoy o $250 dentro de 10 años, ¿qué preferiría usted? Tiene que determinar si $250 dentro de 10 años valdrán más que $100 hoy. Suponga que usted basa su decisión en la tasa de inflación de la economía y piensa que la inflación promedio es de 10% anual. Al deflacionar los $250 usted podrá comparar su poder de compra frente a los $100 recibidos hoy. El procedimiento para saberlo es resolver la fórmula compuesta de la suma presente P, donde V es el monto futuro de $250 dentro de 10 años a 10%. La fórmula del valor compuesto es:

$$V = P(1 + i)^n$$

Se dividen las dos partes entre $(1 + i)^n$ y se obtiene

$$P = \frac{V}{(1+i)^n}$$

$$= \frac{250}{(1+0.10)^{10}} = \$96.39$$

Lo anterior demuestra que dentro de 10 años, con una tasa de inflación de 10%, $250 valdrán $96.39 de los dólares actuales. Por tanto, la elección lógica es tomar los 100 hoy.

Una práctica común para resolver problemas de valor presente es usar tablas. Así, al consultar la tabla I.3 del apéndice I se verá que el factor del valor presente de $1 recibido hoy será de 0.386 dentro de 10 años. Al multiplicar este factor por $250 se obtienen $96.50.

Valor presente de una anualidad El valor presente de una anualidad es el valor del monto anual que se recibirá en un periodo futuro expresado en términos del presente. Para encontrar el valor de una anualidad de $100 a 3 años y 10%, encuentre el factor en la tabla del valor presente que se aplica a 10% en *cada uno* de los 3 años en que recibirá el monto y multiplique cada uno de estos pagos por este factor. Después sume las cifras que resulten. Recuerde que las anualidades suelen recibirse al término de cada periodo.

Año	Monto recibido al término del año		Factor del valor presente a 10%		Valor presente
1	$100	×	0.909	=	$ 90.90
2	100	×	0.826	=	82.60
3	100	×	0.751	=	75.10
Ingreso total	$300		Valor presente total	=	$248.60

La fórmula general para obtener el valor presente de una anualidad es

$$A_n = R\left[\frac{1}{(1+i)} + \frac{1}{(1+i)^2} + \cdots + \frac{1}{(1+i)^n}\right]$$

donde

A_n = Valor presente de una anualidad de n años
R = Pagos periódicos
n = Duración de la anualidad en años

Al aplicar la fórmula al ejemplo anterior se obtiene

$$A_n = \$100\left[\frac{1}{(1+0.10)} + \frac{1}{(1+0.10)^2} + \frac{1}{(1+0.10)^3}\right]$$
$$= \$100(2.487) = \$248.70$$

La tabla I.4 del apéndice I contiene los valores presentes de una anualidad con distintos vencimientos. El factor del valor presente para una anualidad de 1 dólar a 3 años y 10% (tabla I.4, apéndice I) es 2.487. Como la suma es de 100 dólares y no 1 dólar, se multiplica el factor por 100 dólares para obtener 248.70 dólares.

Cuando los pagos futuros de la serie no son simétricos, se tiene que calcular el valor presente de cada pago anual. A continuación se suman los valores presentes de los pagos de todos los años para obtener el valor total presente. En ocasiones, el proceso es tedioso, pero también es inevitable.

Flujo de efectivo descontado El término *flujo de efectivo descontado* se refiere al total de pagos de una serie que generará en el futuro un activo, descontado en el presente. Es tan solo un análisis del valor presente que incluye todos los flujos: pagos únicos, anualidades y todos los demás.

MÉTODOS PARA CLASIFICAR LAS INVERSIONES

Valor presente neto Los negocios por lo común usan el método del valor presente neto. Así, basan sus decisiones en el monto del valor presente de una serie de ingresos proyectados que excede al costo de una inversión.

Una empresa estudia dos alternativas para invertir. La primera cuesta $30 000, y la segunda, $50 000. La tabla siguiente muestra la serie de ingresos en efectivo que espera obtener al año:

	Entrada de efectivo	
Año	**Alternativa A**	**Alternativa B**
1	$10 000	$15 000
2	10 000	15 000
3	10 000	15 000
4	10 000	15 000
5	10 000	15 000

Para escoger entre la alternativa A o la B, encuentre cuál tiene el valor presente neto más alto. Suponga que el costo del capital es de 8%.

ALTERNATIVA A			ALTERNATIVA B		
3.993 (PV factor) × $10 000	=	$39 930	3.993 (PV factor) × $15 000	=	$59 895
Menos costo de la inversión	=	30 000	Menos costo de la inversión	=	50 000
Valor presente neto	=	$ 9 930	Valor presente neto	=	$ 9 895

La inversión A es la mejor alternativa. Su valor presente neto excede al de la inversión B en $35 ($9 930 − $9 895 = $35).

Periodo de la devolución El método de la devolución o reembolso califica las inversiones en razón del tiempo que se requiere para que cada inversión rinda ganancias por una cantidad equivalente al costo de la inversión. La lógica dice que cuanto antes se recupere el capital invertido, tanto antes se reinvertirá en otros proyectos que produzcan ingresos. Luego entonces, cabe suponer que una empresa podrá obtener más beneficios de sus fondos de inversión disponibles.

Considere dos alternativas que requieren una inversión de $1 000 cada una. La primera generará $200 al año durante 6 años; la segunda generará $300 al año durante los primeros 3 años y $100 al año durante los siguientes 3 años.

Si se escoge la primera alternativa, se recuperará la inversión inicial de $1 000 al término del quinto año. El ingreso producido por la segunda alternativa sumará un total de $1 000 pasados tan solo 4 años. La segunda alternativa permitirá reinvertir los $1 000 en nuevos proyectos que produzcan ingresos un año antes que la primera.

Si bien la popularidad del método de la devolución ha disminuido como medida única para la decisión de invertir, aún es frecuente en conjunción con otros métodos para indicar el tiempo que los fondos estarán comprometidos. Los principales problemas de la devolución son que no toma en cuenta el ingreso después del periodo de la devolución y que ignora el valor del dinero con el tiempo. Un método que ignora el valor del dinero con el tiempo resulta cuestionable.

Tasa interna de rendimiento Cabe definir la tasa interna de rendimiento como la tasa de interés que iguala el valor presente de una serie de ingresos con el costo de una inversión. No hay procedimiento ni fórmula que se pueda usar directamente para calcular la tasa interna de rendimiento, sino que se debe encontrar mediante el cálculo iterativo o la interpolación.

Suponga que quiere encontrar la tasa interna de rendimiento de la inversión de $12 000, la cual producirá un ingreso de efectivo de $4 000 al año durante 4 años. Se sabe que el factor del valor presente que busca es:

$$\frac{\$12\,000}{\$4\,000} = 3.000$$

y se busca la tasa de interés que producirá este factor a lo largo del periodo de 4 años. La tasa de interés debe estar entre 12 y 14% porque 3.000 está entre 3.037 y 2.914 (en la cuarta fila de la tabla I.4 del apéndice I). La interpolación lineal entre estos valores, según la ecuación

$$\begin{aligned} I &= 12 + (14 - 12)\,\frac{(3.037 - 3.000)}{(3.037 - 2.914)} \\ &= 12 + 0.602 = 12.602\% \end{aligned}$$

ofrece una buena aproximación de la tasa interna real de rendimiento.

Cuando se descuenta la serie de ingresos a 12.6%, el valor presente resultante se aproxima mucho al costo de la inversión. Por tanto, la tasa interna de interés para esta inversión es de 12.6%. Se puede comparar el costo del capital con la tasa interna de rendimiento para determinar la tasa neta de rendimiento de la inversión. En este ejemplo, si el costo del capital fuera de 8%, dicha tasa neta sería de 4.6%.

Los métodos del valor presente neto y la tasa interna de rendimiento implican procedimientos esencialmente iguales. Difieren en que el método del valor presente neto permite comparar las alternativas para invertir en términos del valor en dólares que excede al costo, mientras que el método de la tasa interna de rendimiento permite comparar las tasas de rendimiento de las inversiones alternativas. Además, el método de la tasa interna de rendimiento ocasionalmente se topa con problemas de cálculo, pues con frecuencia aparecen tasas múltiples en el cálculo.

Clasificar inversiones con duraciones distintas Cuando las inversiones propuestas tienen la misma duración, si se comparan con los métodos anteriores se obtendrá un panorama razonable de su valor relativo. Sin embargo, cuando su duración es distinta, surge la interrogante de cómo relacionar dos plazos que no son iguales. ¿Se debe pensar que los reemplazos son iguales al original? ¿Se debe considerar que la productividad de la unidad de plazo más corto, que se reemplazará antes, es mayor? ¿Cómo se debe calcular el costo de unidades futuras?

No es posible esperar que un cálculo sobre inversiones imprevisibles en el momento de la decisión refleje un grado importante de precisión. Sin embargo, es preciso afrontar el problema, y el punto de partida serán algunos supuestos para determinar una clasificación.

PROBLEMAS DE MUESTRA: DECISIONES DE INVERTIR

Paso a paso

EJEMPLO C.1: Una decisión de expansión

William J. Wilson Ceramic Products, Inc., arrienda las instalaciones de una planta donde se fabrican ladrillos refractarios. Con una demanda creciente, Wilson podría aumentar sus ventas si invierte en equipamien-

to nuevo para expandir su producción. El precio de venta de $10 por ladrillo refractario no se verá alterado si aumentan la producción y las ventas. Con base en cálculos de costos y de ingeniería, el departamento de contabilidad presenta a la gerencia los siguientes costos estimados, basados en un incremento anual de la producción de 100 000 ladrillos:

Costo del equipo nuevo con una vida esperada de 5 años	$500 000
Costo de instalación del equipo	20 000
Valor de salvamento esperado	0
Parte del gasto anual de arrendamiento correspondiente a la nueva operación	40 000
Incremento anual de gastos de utilidad	40 000
Incremento anual de costos de mano de obra	160 000
Costo anual adicional de materias primas	400 000

Usará el método de depreciación de la suma de los dígitos de los años y pagará impuestos sujetos a una tasa de 40%. La política de Wilson es no invertir capital en proyectos que representen una tasa de rendimiento menor de 20%. ¿Debe emprender la expansión propuesta?

Solución

Calcule el costo de la inversión:

Costo de adquisición del equipo	$500 000
Costo de instalación del equipo	20 000
Costo total de la inversión	$520 000

Determine el flujo anual de efectivo a lo largo del tiempo de la inversión.

El gasto de arrendamiento es un costo a fondo perdido, que se contraerá ya sea que la inversión se haga o no, y por tanto no tiene peso para la decisión y no se debe tomar en cuenta. Los gastos anuales de producción que se tomarán en cuenta son los generales, de mano de obra y materias primas. Estos suman un total de $600 000 al año.

El ingreso anual de las ventas es $10 × 100 000 unidades de producto, es decir, un total de $1 000 000. El ingreso anual antes de depreciación e impuestos es por ende un ingreso bruto de $1 000 000, menos egresos por $600 000, o $400 000.

A continuación determine los cargos por depreciación que se descontarán del ingreso de $500 000 cada año, con el método de la SDA (suma de los dígitos de los años = 1 + 2 + 3 + 4 + 5 = 15):

Año	Proporción de $500 000 que se depreciará		Cargo por depreciación
1	5/15 × $500 000	=	$166 667
2	4/15 × 500 000	=	133 333
3	3/15 × 500 000	=	100 000
4	2/15 × 500 000	=	66 667
5	1/15 × 500 000	=	33 333
	Depreciación acumulada		$500 000

Encuentre cada flujo de efectivo anual cuando los impuestos son de 40%. Se ilustra el flujo de efectivo solo del primer año:

Ingreso antes de depreciación e impuestos		$400 000
Restar: Impuestos a 40% (40% × 400 000)	$160 000	
Beneficio fiscal del egreso por depreciación (0.4 × 166 667)	66 667	93 333
Flujo de efectivo (primer año)		$306 667

Determine el valor presente del flujo de efectivo. Como Wilson exige una tasa mínima de 20% sobre la inversión, multiplique los flujos de efectivo por el factor de un valor presente de 20% para cada año. Debe usar el factor correspondiente para cada año porque los flujos de efectivo no son anualidades.

Año	Factor del valor presente		Flujo de efectivo		Valor presente
1	0.833	×	$306 667	=	$255 454
2	0.694	×	293 333	=	203 573
3	0.579	×	280 000	=	162 120
4	0.482	×	266 667	=	128 533
5	0.402	×	253 334	=	101 840
	Valor presente total de los flujos de efectivo (descontado a 20%)			=	$851 520

Ahora averigüe si el valor presente neto es positivo o negativo:

Valor presente total de los flujos de efectivo	$851 520
Costo total de la inversión	520 000
Valor presente neto	$331 520

El valor presente neto es positivo cuando se descuenta el rendimiento a 20%. Wilson ganará un monto superior a 20% sobre esta inversión. Debe llevar a cabo la expansión propuesta. ●

EJEMPLO C.2: Una decisión de reemplazo

La Cervecería de Bennie usa desde hace 5 años una máquina que pega etiquetas a las botellas. Compró la máquina por $4 000 y la está depreciando a 10 años, hasta alcanzar un valor de salvamento de $0, con una depreciación en línea recta. Ahora podría vender la máquina por $2 000. Bennie puede adquirir una etiquetadora nueva por $6 000, la cual tendría una vida útil de 5 años y bajaría los costos de mano de obra $1 200 por año. La máquina antigua necesitará una reparación mayor dentro de pocos meses, con un costo estimado de 3$00. Si la compra, depreciará la máquina nueva a lo largo de 5 años, hasta un valor de salvamento de $500, con el método de línea recta. La compañía invertirá en cualquier proyecto que genere más de 12% del costo del capital. La tasa fiscal es de 40%. ¿La cervecería de Bennie debe invertir en la máquina nueva?

Paso a paso

Solución

Determine el costo de la inversión:

Precio de la máquina nueva		$6 000
Menos: Venta de la máquina antigua	$2 000	
Costos evitables de la reparación	300	2 300
Costo efectivo de la inversión		$3 700

Determine el incremento del flujo de efectivo que resultaría de la inversión en la máquina nueva:

Ahorro anual de costos = $1 200

Depreciación diferencial

Depreciación anual de la máquina antigua:

$$\frac{\text{Costo} - \text{Salvamento}}{\text{Vida esperada}} = \frac{\$4\,000 - \$0}{10} = \$400$$

Depreciación anual de la máquina nueva:

$$\frac{\text{Costo} - \text{Salvamento}}{\text{Vida esperada}} = \frac{\$6\,000 - \$500}{5} = \$1\,100$$

Depreciación diferencial = $1 100 − $400 = $700

Ingreso neto anual del flujo de efectivo que entra a la empresa:

Ahorro de costos		$1 200
Restar: impuestos a 40%	$480	
Sumar: ventaja de incremento en depreciación (0.4 × $700)	280	200
Incremento anual del flujo de efectivo		$1 000

Determine el valor total presente de la inversión:

El flujo de efectivo de $1 000 al año durante 5 años es una anualidad.

El valor presente del costo del capital descontado a 12% es

3.605 × $1 000 = $3 605

El valor presente de la máquina nueva, vendida a su valor de salvamento de 500 dólares, al término del quinto año es

0.567 × $500 = $284

El valor total presente del flujo de efectivo esperado es:

$3 605 + $284 = $3 889

Determine si el valor presente neto es positivo:

Valor presente total	$3 889
Costo de la inversión	3 700
Valor presente neto	$189

La cervecería de Bennie debe comprar la máquina porque la inversión producirá un poco más que el costo del capital.

Nota: Este ejemplo demuestra la importancia de la depreciación. El valor presente del flujo de efectivo anual que resulta de estas operaciones es

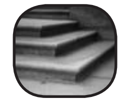
(Ahorro de costos − Impuestos) × (Factor del valor presente)

($1 200 − $480) × (3.605) = $2 596

Esta cifra es $1 104 menos que el costo de $3 700 de la inversión. Solo una gran ventaja por la depreciación es lo que hace que la inversión valga la pena. El valor presente total de la ventaja es de $1 009:

(Tasa fiscal × Depreciación diferencial) × (Factor VP)

(0.4 × $700) × (3.605) = $1 009 ●



Paso a paso

EJEMPLO C.3: Una decisión de fabricar o comprar

Triple X Company fabrica y vende refrigeradores. Fabrica algunas piezas de los refrigeradores y compra otras. El departamento de ingeniería piensa que la compañía podría bajar los costos si fabricara una de las piezas que actualmente compra por $8.25 cada una. La empresa usa 100 000 de estas piezas al año. El departamento de contabilidad compiló la siguiente lista de costos a partir de las estimaciones de ingeniería:

Los costos fijos aumentarán $50 000.
Los costos de mano de obra aumentarán $125 000.
Los gastos indirectos de la fábrica, que actualmente suman $500 000 al año, quizá suban 12%.
Las materias primas para fabricar la pieza costarán $600 000.

Con las estimaciones anteriores, ¿Triple X debe fabricar la pieza o mejor la sigue comprando?

Solución

Encuentre el costo total contraído si se manufacturase la pieza:

Costos fijos adicionales	$ 50 000
Costos de mano de obra adicionales	125 000
Costo de materias primas	600 000
Costos indirectos adicionales = 0.12 × $500 000	60 000
Costo total por fabricarla	$835 000

Encuentre el costo por fabricar cada unidad

$$\frac{\$835\ 000}{100\ 000} = \$8.35 \text{ por unidad}$$

Triple X debe seguir comprando la pieza. Los costos de su producción exceden el costo presente de compra en 0.10 dólares por unidad. ●

Bibliografía seleccionada

Bodie, Z., A. Kane y A. Marcus, *Investments,* 6a. ed., Nueva York, McGraw-Hill/Irwin, 2004.

Helfert, E., *Techniques of Financial Analysis: A Modern Approach,* 11a. ed., Nueva York, Irwin/McGraw-Hill, 2002.

Poterba, J. M. y L. H. Summers, "A CEO Survey of U.S. Companies' Time Horizons and Hurdle Rates", *Sloan Management Review*, otoño de 1995, pp. 43-53.

Apéndice D

Respuestas a problemas seleccionados

Capítulo 2

4. Productividad (horas)
   Deluxe 0.20
   Limited 0.20
   Productividad (dólares)
   Deluxe 133.33
   Limited 135.71

Capítulo 3

No hay problemas resueltos.

Capítulo 4

3. No. Debe considerar la demanda en el cuarto año.
5. VNP esperado, pequeño
   $4.8 millones
   VNP esperado, grande
   $2.6 millones

Capítulo 4A

3. *BR* trabajo, 80%
   BR piezas 90%
   Trabajo = 11 556 horas
   Piezas = $330 876
7. 4 710 horas
11. *a*) 3o. = 35.1 horas
    b) Promedio = 7.9 horas cada uno; vale la pena

Capítulo 5

3. Método tradicional 20 min preparación + 10 × 2 = 40 min total sistema de escanear/recuperar. 1 min de preparación + 10 × 5 = 51 min total. El método tradicional es el mejor.
5. *a*) Solo se puede atender al mercado a 3 galones/h. En 50 horas la tina se desbordará.
   b) La cantidad promedio atendida es de solo 2.5 galones/h, por lo que ese es el índice de producción.

Capítulo 5A

2. *a*) 1.35 minutos
   b) 1.51 minutos
   c) $48. El trabajador no ganaría el bono.
6. *a*) NT = 0.9286 minutos/pieza
   b) ST = 1.0679 minutos/pieza
   c) Producción diaria = 449.50
   Salario diario = $44.49

Capítulo 6

6. *a*) 20 000 libros
   b) mayor
   c) menor
12. 80 unidades/hora

Capítulo 6A

3. *b*) 120 segundos
   d) 87.5%
9. *a*) 33.6 segundos
   b) 3.51, por tanto 4 estaciones de trabajo
   d) AB, DF, C, EG, H
   e) Efficiencia = 70.2%
   f) Reducir el tiempo del ciclo a 32 segundos y la mano de obra a 6 2/3 minutos de tiempo extra
   g) 1.89 horas extra; quizá sería mejor reequilibrar

Capítulo 7

No hay problemas resueltos.

Capítulo 7A

5. W_s = 4.125 minutos
   L_q = 4.05 autos
   L_s = 4.95 autos
9. *a*) L = 0.22 espera
   b) W = 0.466 hora
   c) D = 0.362
10. *a*) 2 personas
    b) 6 minutos
    c) 0.2964
    d) 67%
    e) 0.03375 horas
18. *a*) 0.833
    b) 5 documentos
    c) 0.2 horas
    d) 0.4822
    e) L_1 = tiende a infinito

Capítulo 8

No hay problemas resueltos.

Capítulo 9

No hay problemas resueltos.

Capítulo 9A

1. *a*) Costo por no inspeccionar = $20/h. Costo por inspeccionar = $9/h. Por tanto, inspeccionar.

b) \$0.18 cada uno
c) \$0.22 por unidad

6. $\overline{\overline{X}} = 999.1$
$LSC = 1014.965$
$LIC = 983.235$
$\overline{R} = 21.733$
$LSC = 49.551$
$LIC = 0$
El proceso está bajo control

9. *a*) $n = 31.3$ (redondear tamaño de la muestra a 32)
b) Muestra aleatoria 32; rechazar si más de 8 son defectuosas.

12. $\overline{\overline{X}} = 0.499$
$LCS = 0.520$
$LCI = 0.478$
$R = 0.037$
$LCS = 0.078$
$LCI = 0.000$
El proceso está bajo control

CAPÍTULO 10

5. *b*) A-C-F-G-I y A-D-F-G-I
c) C: una semana
D: una semana
G: una semana
d) Dos rutas: A-C-F-G-I; y A-D-F-G-I; 16 semanas

10. *a*) La ruta crítica es A-E-G-C-D
b) 26 semanas
c) No hay diferencia en la fecha de terminación

11. *a*) La ruta crítica es A-C-D-F-G
b)

Día	Costo	Actividad
Primero	\$1 000	A
Segundo	1 200	C
Tercero	1 500	D (o F)
Cuarto	1 500	F (o D)
	\$5 200	

CAPÍTULO 11

1. Taiwán \$84 442.11
Interno \$149 427.14
Comprar al proveedor taiwanés

3. Rotación de inventario promedio = 148.6
Días de inventario = 2.46 días

CAPÍTULO 12

1. $C_X = 176.7$
$C_Y = 241.5$

2. $C_X = 374$
$C_Y = 357$

CAPÍTULO 13

1. 5 juegos de tarjetas kanban
5. 5 juegos de tarjetas kanban

CAPÍTULO 13A

No hay problemas resueltos.

CAPÍTULO 14

No hay problemas resueltos.

CAPÍTULO 15

3. *a*) Febrero 84
Marzo 86
Abril 90
Mayo 88
Junio 84
b) DAM = 15

7.

Trimestre	Pronóstico
9	232
10	281
11	239
12	231

11. *a*) Abril a septiembre = 130, 150, 160, 170, 160, 150
b) Abril a septiembre = 136, 146, 150, 159, 153, 146
c) La suavización exponencial tuvo mejores resultados.

15. DAM = 104
SS = 3.1
El elevado valor de la SS indica que el modelo es inaceptable.

19. *a*) DAM = 90
SS = −1.67
b) El modelo está bien porque el rastreo es −1.67.

CAPÍTULO 16

2. Costo total = \$413 600
5. Costo total = \$413 750

CAPÍTULO 17

5. $q = 713$
8. *a*) $Q = 1\,225$
$R = 824$
b) $q = 390$ − inventario disponible
12. *a*) $Q = 89$
b) \$224.72
c) \$222.50
14. *a*) A(4, 13, 18);
B (2, 5, 8, 10, 11, 14, 16);
C (resto)
b) Clasificar como A.
17. $q = 691$
26. 729 hamburguesas
31. 5 000 libras

CAPÍTULO 18

4.

Z
- A(2)
  - C(3)
  - D(4)
    - E(2)
- B(4)

11. Método del costo total mínimo: Pedir 250 unidades en el periodo 1 para los periodos 1 a 8;
    Método del costo unitario mínimo: Pedir 450 unidades en el periodo 1 para los periodos 1 a 9.

13. *c*) .A
    - .B(2)
      - .E(4)
      - .F(3)
    - .C(3)
      - .D(3)
      - .H(2)
        - .E(5)
        - .G(2)
    - .D(1)

    d)

Nivel 0	100 unidades de A
Nivel 1	200 unidades de B
	300 unidades de C
Nivel 2	600 unidades de F
	600 unidades de H
	1 000 unidades de D
Nivel 3	3 800 unidades de E
	1 200 unidades de G

CAPÍTULO 19

5. Orden de trabajos: 5, 6, 7, 3, 1, 2, 4
7. A a 3, B a 1, C a 4, D a 2; costo = $17 000
8. Programa de proporción crítica: 5, 3, 2, 4, 1
   Fecha de vencimiento más próxima, prioridad de trabajos: 2, 5, 3, 4, 1
   Tiempo de procesamiento más breve (inclusive tiempo de atraso): 2, 1, 4, 3, 5
9. E, A, B, D, C
14. C, B, D, F, E, A

CAPÍTULO 19A

2. Tiempo de espera promedio del cliente = $\frac{1}{6}$ minuto

   Tiempo perdido promedio de los cajeros = $\frac{4}{6}$ minuto

7. *a*)

Condición 1	**Condición 2**
(1) Ocio 18 min	76 + 134 = 210 min
(2) Demora 87 min	0 min

   b)

Condición 1	**Condición 2**
Costo de técnico en reparación	
$ 38.80	$ 77.20
Costo de máquina parada	
175.33	$117.33
$214.13	$194.53 (Costo total)

   El costo más bajo es la condición 2.

11. Un auto pasa de largo.

CAPÍTULO 20

1.

Caso I:	Uso X = 933.3 horas
	Uso Y = 700 horas
Caso II:	Y = 700 horas
	X = 933.3 horas
Caso III:	X = 933.3 horas
	Y = 700 horas
Caso IV:	X = 933.3 horas
	Y = 700 horas

   De lo contrario:

Caso I:	Ningún problema
Caso II:	Exceso de WIP
Caso III:	Exceso de refaccioness
Caso IV:	Exceso de productos terminados

8. *a*) La máquina B es la restricción.
   b) Toda M; el mayor número posible de N
   c) $600 (100 M y 30 N)

APÉNDICE A

2. La combinación óptima es $B = 10$, $A = 15$, y $Z = 70$.
4. *a*) $600A + 900B \leq 3\,600$
   $600A + 900B \geq 1\,800$
   $200A + 700B \leq 1\,400$
   $400A + 100B \geq 400$
   $A \leq 2$
   Reducir $.75A + .15B$
   b) $A = 0.54$
   $B = 1.85$
   Obj = 0.68

APÉNDICE E

Tabla de valor presente

TABLA E.1 Valor presente de 1 dólar.

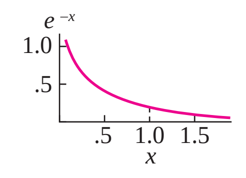
Año	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%	12%	14%	15%
1	.990	.980	.971	.962	.952	.943	.935	.926	.917	.909	.893	.877	.870
2	.980	.961	.943	.925	.907	.890	.873	.857	.842	.826	.797	.769	.756
3	.971	.942	.915	.889	.864	.840	.816	.794	.772	.751	.712	.675	.658
4	.961	.924	.889	.855	.823	.792	.763	.735	.708	.683	.636	.592	.572
5	.951	.906	.863	.822	.784	.747	.713	.681	.650	.621	.567	.519	.497
6	.942	.888	.838	.790	.746	.705	.666	.630	.596	.564	.507	.456	.432
7	.933	.871	.813	.760	.711	.665	.623	.583	.547	.513	.452	.400	.376
8	.923	.853	.789	.731	.677	.627	.582	.540	.502	.467	.404	.351	.327
9	.914	.837	.766	.703	.645	.592	.544	.500	.460	.424	.361	.308	.284
10	.905	.820	.744	.676	.614	.558	.508	.463	.422	.386	.322	.270	.247
11	.896	.804	.722	.650	.585	.527	.475	.429	.388	.350	.287	.237	.215
12	.887	.788	.701	.625	.557	.497	.444	.397	.356	.319	.257	.208	.187
13	.879	.773	.681	.601	.530	.469	.415	.368	.326	.290	.229	.182	.163
14	.870	.758	.661	.577	.505	.442	.388	.340	.299	.263	.205	.160	.141
15	.861	.743	.642	.555	.481	.417	.362	.315	.275	.239	.183	.140	.123
16	.853	.728	.623	.534	.458	.394	.339	.292	.252	.218	.163	.123	.107
17	.844	.714	.605	.513	.436	.371	.317	.270	.231	.198	.146	.108	.093
18	.836	.700	.587	.494	.416	.350	.296	.250	.212	.180	.130	.095	.081
19	.828	.686	.570	.475	.396	.331	.276	.232	.194	.164	.116	.083	.070
20	.820	.673	.554	.456	.377	.312	.258	.215	.178	.149	.104	.073	.061
25	.780	.610	.478	.375	.295	.233	.184	.146	.116	.092	.059	.038	.030
30	.742	.552	.412	.308	.231	.174	.131	.099	.075	.057	.033	.020	.015

Año	16%	18%	20%	24%	28%	32%	36%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
1	.862	.847	.833	.806	.781	.758	.735	.714	.667	.625	.588	.556	.526
2	.743	.718	.694	.650	.610	.574	.541	.510	.444	.391	.346	.309	.277
3	.641	.609	.579	.524	.477	.435	.398	.364	.296	.244	.204	.171	.146
4	.552	.516	.482	.423	.373	.329	.292	.260	.198	.153	.120	.095	.077
5	.476	.437	.402	.341	.291	.250	.215	.186	.132	.095	.070	.053	.040
6	.410	.370	.335	.275	.227	.189	.158	.133	.088	.060	.041	.029	.021
7	.354	.314	.279	.222	.178	.143	.116	.095	.059	.037	.024	.016	.011
8	.305	.266	.233	.179	.139	.108	.085	.068	.039	.023	.014	.009	.006
9	.263	.226	.194	.144	.108	.082	.063	.048	.026	.015	.008	.005	.003
10	.227	.191	.162	.116	.085	.062	.046	.035	.017	.009	.005	.003	.002
11	.195	.162	.135	.094	.066	.047	.034	.025	.012	.006	.003	.002	.001
12	.168	.137	.112	.076	.052	.036	.025	.018	.008	.004	.002	.001	.001
13	.145	.116	.093	.061	.040	.027	.018	.013	.005	.002	.001	.001	.000
14	.125	.099	.078	.049	.032	.021	.014	.009	.003	.001	.001	.000	.000
15	.108	.084	.065	.040	.025	.016	.010	.006	.002	.001	.000	.000	.000
16	.093	.071	.054	.032	.019	.012	.007	.005	.002	.001	.000	.000	
17	.080	.060	.045	.026	.015	.009	.005	.003	.001	.000	.000		
18	.069	.051	.038	.021	.012	.007	.004	.002	.001	.000	.000		
19	.060	.043	.031	.017	.009	.005	.003	.002	.000	.000			
20	.051	.037	.026	.014	.007	.004	.002	.001	.000	.000			
25	.024	.016	.010	.005	.002	.001	.000	.000					
30	.012	.007	.004	.002	.001	.000	.000						

Con Microsoft Excel® estos valores se calculan con la ecuación $(1 + \text{interés})^{-\text{años}}$.

APÉNDICE F

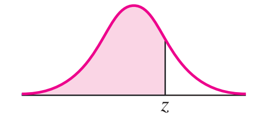
Distribución exponencial negativa: valores de e^{-x}



x	e^{-x} (valor)	x	e^{-x} (valor)	x	e^{-x} (valor)	x	e^{-x} (valor)
0.00	1.00000	0.50	0.60653	1.00	0.36788	1.50	0.22313
0.01	0.99005	0.51	.60050	1.01	.36422	1.51	.22091
0.02	.98020	0.52	.59452	1.02	.36060	1.52	.21871
0.03	.97045	0.53	.58860	1.03	.35701	1.53	.21654
0.04	.96079	0.54	.58275	1.04	.35345	1.54	.21438
0.05	.95123	0.55	.57695	1.05	.34994	1.55	.21225
0.06	.94176	0.56	.57121	1.06	.34646	1.56	.21014
0.07	.93239	0.57	.56553	1.07	.34301	1.57	.20805
0.08	.92312	0.58	.55990	1.08	.33960	1.58	.20598
0.09	.91393	0.59	.55433	1.09	.33622	1.59	.20393
0.10	.90484	0.60	.54881	1.10	.33287	1.60	.20190
0.11	.89583	0.61	.54335	1.11	.32956	1.61	.19989
0.12	.88692	0.62	.53794	1.12	.32628	1.62	.19790
0.13	.87809	0.63	.53259	1.13	.32303	1.63	.19593
0.14	.86936	0.64	.52729	1.14	.31982	1.64	.19398
0.15	.86071	0.65	.52205	1.15	.31664	1.65	.19205
0.16	.87514	0.66	.51685	1.16	.31349	1.66	.19014
0.17	.84366	0.67	.51171	1.17	.31037	1.67	.18825
0.18	.83527	0.68	.50662	1.18	.30728	1.68	.18637
0.19	.82696	0.69	.50158	1.19	.30422	1.69	.18452
0.20	.81873	0.70	.49659	1.20	.30119	1.70	.18268
0.21	.81058	0.71	.49164	1.21	.29820	1.71	.18087
0.22	.80252	0.72	.48675	1.22	.29523	1.72	.17907
0.23	.79453	0.73	.48191	1.23	.29229	1.73	.17728
0.24	.78663	0.74	.47711	1.24	.28938	1.74	.17552
0.25	.77880	0.75	.47237	1.25	.28650	1.75	.17377
0.26	.77105	0.76	.46767	1.26	.28365	1.76	.17204
0.27	.76338	0.77	.46301	1.27	.28083	1.77	.17033
0.28	.75578	0.78	.45841	1.28	.27804	1.78	.16864
0.29	.74826	0.79	.45384	1.29	.27527	1.79	.16696
0.30	.74082	0.80	.44933	1.30	.27253	1.80	.16530
0.31	.73345	0.81	.44486	1.31	.26982	1.81	.16365
0.32	.72615	0.82	.44043	1.32	.26714	1.82	.16203
0.33	.71892	0.83	.43605	1.33	.26448	1.83	.16041
0.34	.71177	0.84	.43171	1.34	.26185	1.84	.15882
0.35	.70469	0.85	.42741	1.35	.25924	1.85	.15724
0.36	.69768	0.86	.42316	1.36	.25666	1.86	.15567
0.37	.69073	0.87	.41895	1.37	.25411	1.87	.15412
0.38	.68386	0.88	.41478	1.38	.25158	1.88	.15259
0.39	.67706	0.89	.41066	1.39	.24908	1.89	.15107
0.40	.67032	0.90	.40657	1.40	.24660	1.90	.14957
0.41	.66365	0.91	.40252	1.41	.24414	1.91	.14808
0.42	.65705	0.92	.39852	1.42	.24171	1.92	.14661
0.43	.65051	0.93	.39455	1.43	.23931	1.93	.14515
0.44	.64404	0.94	.39063	1.44	.23693	1.94	.14370
0.45	.63763	0.95	.38674	1.45	.23457	1.95	.14227
0.46	.63128	0.96	.38289	1.46	.23224	1.96	.14086
0.47	.62500	0.97	.37908	1.47	.22993	1.97	.13946
0.48	.61878	0.98	.37531	1.48	.22764	1.98	.13807
0.49	.61263	0.99	.37158	1.49	.22537	1.99	.13670
0.50	.60653	1.00	.36788	1.50	.22313	2.00	.13534

Con Excel® de Microsoft estos valores se calculan con la ecuación: 1 – EXPONDIST(x, 1, VALOR).

Áreas de la distribución normal estándar acumulada



Un valor z en la tabla es la proporción debajo de la curva acumulada a partir del extremo negativo.

z	G(z)	z	G(z)	z	G(z)
−4.00	0.00003	−1.30	0.09680	1.40	0.91924
−3.95	0.00004	−1.25	0.10565	1.45	0.92647
−3.90	0.00005	−1.20	0.11507	1.50	0.93319
−3.85	0.00006	−1.15	0.12507	1.55	0.93943
−3.80	0.00007	−1.10	0.13567	1.60	0.94520
−3.75	0.00009	−1.05	0.14686	1.65	0.95053
−3.70	0.00011	−1.00	0.15866	1.70	0.95543
−3.65	0.00013	−0.95	0.17106	1.75	0.95994
−3.60	0.00016	−0.90	0.18406	1.80	0.96407
−3.55	0.00019	−0.85	0.19766	1.85	0.96784
−3.50	0.00023	−0.80	0.21186	1.90	0.97128
−3.45	0.00028	−0.75	0.22663	1.95	0.97441
−3.40	0.00034	−0.70	0.24196	2.00	0.97725
−3.35	0.00040	−0.65	0.25785	2.05	0.97982
−3.30	0.00048	−0.60	0.27425	2.10	0.98214
−3.25	0.00058	−0.55	0.29116	2.15	0.98422
−3.20	0.00069	−0.50	0.30854	2.20	0.98610
−3.15	0.00082	−0.45	0.32636	2.25	0.98778
−3.10	0.00097	−0.40	0.34458	2.30	0.98928
−3.05	0.00114	−0.35	0.36317	2.35	0.99061
−3.00	0.00135	−0.30	0.38209	2.40	0.99180
−2.95	0.00159	−0.25	0.40129	2.45	0.99286
−2.90	0.00187	−0.20	0.42074	2.50	0.99379
−2.85	0.00219	−0.15	0.44038	2.55	0.99461
−2.80	0.00256	−0.10	0.46017	2.60	0.99534
−2.75	0.00298	−0.05	0.48006	2.65	0.99598
−2.70	0.00347	0.00	0.50000	2.70	0.99653
−2.65	0.00402	0.05	0.51994	2.75	0.99702
−2.60	0.00466	0.10	0.53983	2.80	0.99744
−2.55	0.00539	0.15	0.55962	2.85	0.99781
−2.50	0.00621	0.20	0.57926	2.90	0.99813
−2.45	0.00714	0.25	0.59871	2.95	0.99841
−2.40	0.00820	0.30	0.61791	3.00	0.99865
−2.35	0.00939	0.35	0.63683	3.05	0.99886
−2.30	0.01072	0.40	0.65542	3.10	0.99903
−2.25	0.01222	0.45	0.67364	3.15	0.99918
−2.20	0.01390	0.50	0.69146	3.20	0.99931
−2.15	0.01578	0.55	0.70884	3.25	0.99942
−2.10	0.01786	0.60	0.72575	3.30	0.99952
−2.05	0.02018	0.65	0.74215	3.35	0.99960
−2.00	0.02275	0.70	0.75804	3.40	0.99966
−1.95	0.02559	0.75	0.77337	3.45	0.99972
−1.90	0.02872	0.80	0.78814	3.50	0.99977
−1.85	0.03216	0.85	0.80234	3.55	0.99981
−1.80	0.03593	0.90	0.81594	3.60	0.99984
−1.75	0.04006	0.95	0.82894	3.65	0.99987
−1.70	0.04457	1.00	0.84134	3.70	0.99989
−1.65	0.04947	1.05	0.85314	3.75	0.99991
−1.60	0.05480	1.10	0.86433	3.80	0.99993
−1.55	0.06057	1.15	0.87493	3.85	0.99994
−1.50	0.06681	1.20	0.88493	3.90	0.99995
−1.45	0.07353	1.25	0.89435	3.95	0.99996
−1.40	0.08076	1.30	0.90320	4.00	0.99997
−1.35	0.08851	1.35	0.91149		

Con Excel® de Microsoft estas posibilidades se generan con la función NORMSDIST(z).

APÉNDICE H

Números aleatorios distribuidos uniformemente

56970	10799	52098	04184	54967	72938	50834	23777	08392
83125	85077	60490	44369	66130	72936	69848	59973	08144
55503	21383	02464	26141	68779	66388	75242	82690	74099
47019	06683	33203	29603	54553	25971	69573	83854	24715
84828	61152	79526	29554	84580	37859	28504	61980	34997
08021	31331	79227	05748	51276	57143	31926	00915	45821
36458	28285	30424	98420	72925	40729	22337	48293	86847
05752	96045	36847	87729	81679	59126	59437	33225	31280
26768	02513	58454	56958	20575	76746	40878	06846	32828
42613	72456	43030	58085	06766	60227	96414	32671	45587
95457	12176	65482	25596	02678	54592	63607	82096	21913
95276	67524	63564	95958	39750	64379	46059	51666	10433
66954	53574	64776	92345	95110	59448	77249	54044	67942
17457	44151	14113	02462	02798	54977	48340	66738	60184
03704	23322	83214	59337	01695	60666	97410	55064	17427
21538	16997	33210	60337	27976	70661	08250	69509	60264
57178	16730	08310	70348	11317	71623	55510	64750	87759
31048	40058	94953	55866	96283	40620	52087	80817	74533
69799	83300	16498	80733	96422	58078	99643	39847	96884
90595	65017	59231	17772	67831	33317	00520	90401	41700
33570	34761	08039	78784	09977	29398	93896	78227	90110
15340	82760	57477	13898	48431	72936	78160	87240	52710
64079	07733	36512	56186	99098	48850	72527	08486	10951
63491	84886	67118	62063	74958	20946	28147	39338	32109
92003	76568	41034	28260	79708	00770	88643	21188	01850
52360	46658	66511	04172	73085	11795	52594	13287	82531
74622	12142	68355	65635	21828	39539	18988	53609	04001
04157	50070	61343	64315	70836	82857	35335	87900	36194
86003	60070	66241	32836	27573	11479	94114	81641	00496
41208	80187	20351	09630	84668	42486	71303	19512	50277
06433	80674	24520	18222	10610	05794	37515	48619	62866
39298	47829	72648	37414	75755	04717	29899	78817	03509
89884	59651	67533	68123	17730	95862	08034	19473	63971
61512	32155	51906	61662	64430	16688	37275	51262	11569
99653	47635	12506	88535	36553	23757	34209	55803	96275
95913	11085	13772	76638	48423	25018	99041	77529	81360
55804	44004	13122	44115	01601	50541	00147	77685	58788
35334	82410	91601	40617	72876	33967	73830	15405	96554
57729	88646	76487	11622	96297	24160	09903	14047	22917
86648	89317	63677	70119	94739	25875	38829	68377	43918
30574	06039	07967	32422	76791	30725	53711	93385	13421
81307	13114	83580	79974	45929	85113	72268	09858	52104
02410	96385	79067	54939	21410	86980	91772	93307	34116
18969	87444	52233	62319	08598	09066	95288	04794	01534
87863	80514	66860	62297	80198	19347	73234	86265	49096
08397	10538	15438	62311	72844	60203	46412	65943	79232
28520	45247	58729	10854	99058	18260	38765	90038	94209
44285	09452	15867	70418	57012	72122	36634	97283	95943
86299	22510	33571	23309	57040	29285	67870	21913	72958
84842	05748	90894	61658	15001	94005	36308	41161	37341

Tablas de interés

TABLA I.1 Suma compuesta de $1.

Año	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%
1	1.010	1.020	1.030	1.040	1.050	1.060	1.070	1.080	1.090
2	1.020	1.040	1.061	1.082	1.102	1.124	1.145	1.166	1.188
3	1.030	1.061	1.093	1.125	1.158	1.191	1.225	1.260	1.295
4	1.041	1.082	1.126	1.170	1.216	1.262	1.311	1.360	1.412
5	1.051	1.104	1.159	1.217	1.276	1.338	1.403	1.469	1.539
6	1.062	1.126	1.194	1.265	1.340	1.419	1.501	1.587	1.677
7	1.072	1.149	1.230	1.316	1.407	1.504	1.606	1.714	1.828
8	1.083	1.172	1.267	1.369	1.477	1.594	1.718	1.851	1.993
9	1.094	1.195	1.305	1.423	1.551	1.689	1.838	1.999	2.172
10	1.105	1.219	1.344	1.480	1.629	1.791	1.967	2.159	2.367
11	1.116	1.243	1.384	1.539	1.710	1.898	2.105	2.332	2.580
12	1.127	1.268	1.426	1.601	1.796	2.012	2.252	2.518	2.813
13	1.138	1.294	1.469	1.665	1.886	2.133	2.410	2.720	3.066
14	1.149	1.319	1.513	1.732	1.980	2.261	2.579	2.937	3.342
15	1.161	1.346	1.558	1.801	2.079	2.397	2.759	3.172	3.642
16	1.173	1.373	1.605	1.873	2.183	2.540	2.952	3.426	3.970
17	1.184	1.400	1.653	1.948	2.292	2.693	3.159	3.700	4.328
18	1.196	1.428	1.702	2.026	2.407	2.854	3.380	3.996	4.717
19	1.208	1.457	1.754	2.107	2.527	3.026	3.617	4.316	5.142
20	1.220	1.486	1.806	2.191	2.653	3.207	3.870	4.661	5.604
25	1.282	1.641	2.094	2.666	3.386	4.292	5.427	6.848	8.623
30	1.348	1.811	2.427	3.243	4.322	5.743	7.612	10.063	13.268

Año	10%	12%	14%	15%	16%	18%	20%	24%	28%
1	1.100	1.120	1.140	1.150	1.160	1.180	1.200	1.240	1.280
2	1.210	1.254	1.300	1.322	1.346	1.392	1.440	1.538	1.638
3	1.331	1.405	1.482	1.521	1.561	1.643	1.728	1.907	2.067
4	1.464	1.574	1.689	1.749	1.811	1.939	2.074	2.364	2.684
5	1.611	1.762	1.925	2.011	2.100	2.288	2.488	2.932	3.436
6	1.772	1.974	2.195	2.313	2.436	2.700	2.986	3.635	4.398
7	1.949	2.211	2.502	2.660	2.826	3.185	3.583	4.508	5.629
8	2.144	2.476	2.853	3.059	3.278	3.759	4.300	5.590	7.206
9	2.358	2.773	3.252	3.518	3.803	4.435	5.160	6.931	9.223
10	2.594	3.106	3.707	4.046	4.411	5.234	6.192	8.594	11.806
11	2.853	3.479	4.226	4.652	5.117	6.176	7.430	10.657	15.112
12	3.138	3.896	4.818	5.350	5.936	7.288	8.916	13.216	19.343
13	3.452	4.363	5.492	6.153	6.886	8.599	10.699	16.386	24.759
14	3.797	4.887	6.261	7.076	7.988	10.147	12.839	20.319	31.691
15	4.177	5.474	7.138	8.137	9.266	11.974	15.407	25.196	40.565
16	4.595	6.130	8.137	9.358	10.748	14.129	18.488	31.243	51.923
17	5.054	6.866	9.276	10.761	12.468	16.672	22.186	38.741	66.461
18	5.560	7.690	10.575	12.375	14.463	19.673	26.623	48.039	85.071
19	6.116	8.613	12.056	14.232	16.777	23.214	31.948	59.568	108.89
20	6.728	9.646	13.743	16.367	19.461	27.393	38.338	73.864	139.38
25	10.835	17.000	26.462	32.919	40.874	62.669	95.396	216.542	478.90
30	17.449	29.960	50.950	66.212	85.850	143.371	237.376	634.820	1645.5

Con Excel® de Microsoft estos valores se calculan con la ecuación $(1 + \text{interés})^{\text{años}}$.

TABLA I.2 Suma de una anualidad de $1 durante *N* años.

Año	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%
1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2	2.010	2.020	2.030	2.040	2.050	2.060	2.070	2.080
3	2.030	3.060	3.019	3.122	3.152	3.184	3.215	3.246
4	4.060	4.122	4.184	4.246	4.310	4.375	4.440	4.506
5	5.101	5.204	5.309	5.416	5.526	5.637	5.751	5.867
6	6.152	6.308	6.468	6.633	6.802	6.975	7.153	7.336
7	7.214	7.434	7.662	7.898	8.142	8.394	8.654	8.923
8	8.286	8.583	8.892	9.214	9.549	9.897	10.260	10.637
9	9.369	9.755	10.159	10.583	11.027	11.491	11.978	12.488
10	10.462	10.950	11.464	12.006	12.578	13.181	13.816	14.487
11	11.567	12.169	12.808	13.486	14.207	14.972	15.784	16.645
12	12.683	13.412	14.192	15.026	15.917	16.870	17.888	18.977
13	13.809	14.680	15.618	16.627	17.713	18.882	20.141	21.495
14	14.947	15.974	17.086	18.292	19.599	21.051	22.550	24.215
15	16.097	17.293	18.599	20.024	21.579	23.276	25.129	27.152
16	17.258	18.639	20.157	21.825	23.657	25.673	27.888	30.324
17	18.430	20.012	21.762	23.698	25.840	28.213	30.840	33.750
18	19.615	21.412	23.414	25.645	28.132	30.906	33.999	37.450
19	20.811	22.841	25.117	27.671	30.539	33.760	37.379	41.446
20	22.019	24.297	26.870	29.778	33.066	36.786	40.995	45.762
25	28.243	32.030	36.459	41.646	47.727	54.865	63.249	73.106
30	34.785	40.568	47.575	56.085	66.439	79.058	94.461	113.283

Año	9%	10%	12%	14%	16%	18%	20%	24%
1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2	2.090	2.100	2.120	2.140	2.160	2.180	2.200	2.240
3	3.278	3.310	3.374	3.440	3.506	3.572	3.640	3.778
4	4.573	4.641	4.770	4.921	5.066	5.215	5.368	5.684
5	5.985	6.105	6.353	6.610	6.877	7.154	7.442	8.048
6	7.523	7.716	8.115	8.536	8.977	9.442	9.930	10.980
7	9.200	9.487	10.089	10.730	11.414	12.142	12.916	14.615
8	11.028	11.436	12.300	13.233	14.240	15.327	16.499	19.123
9	13.021	13.579	14.776	16.085	17.518	19.086	20.799	24.712
10	15.193	15.937	17.549	19.337	21.321	23.521	25.959	31.643
11	17.560	18.531	20.655	23.044	25.733	28.755	32.150	40.238
12	20.141	21.384	24.133	27.271	30.850	34.931	39.580	50.985
13	22.953	24.523	28.029	32.089	36.786	42.219	48.497	64.110
14	26.019	27.975	32.393	37.581	43.672	50.818	59.196	80.496
15	29.361	31.772	37.280	43.842	51.660	60.965	72.035	100.815
16	33.003	35.950	42.753	50.980	60.925	72.939	87.442	126.011
17	36.974	40.545	48.884	59.118	71.673	87.068	105.931	157.253
18	41.301	45.599	55.750	68.394	84.141	103.740	128.117	195.994
19	46.018	51.159	63.440	78.969	98.603	123.414	154.740	244.033
20	51.160	57.275	72.052	91.025	115.380	146.628	186.688	303.601
25	84.701	93.347	133.334	181.871	249.214	342.603	471.981	898.092
30	136.308	164.494	241.333	356.787	530.312	790.948	1181.882	2640.916

Con Excel® de Microsoft estos valores se calculan con la función FV(interés, años $^{-1}$).

TABLA I.3 Valor presente de $1.

Año	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%	12%	14%	15%
1	.990	.980	.971	.962	.952	.943	.935	.926	.917	.909	.893	.877	.870
2	.980	.961	.943	.925	.907	.890	.873	.857	.842	.826	.797	.769	.756
3	.971	.942	.915	.889	.864	.840	.816	.794	.772	.751	.712	.675	.658
4	.961	.924	.889	.855	.823	.792	.763	.735	.708	.683	.636	.592	.572
5	.951	.906	.863	.822	.784	.747	.713	.681	.650	.621	.567	.519	.497
6	.942	.888	.838	.790	.746	.705	.666	.630	.596	.564	.507	.456	.432
7	.933	.871	.813	.760	.711	.665	.623	.583	.547	.513	.452	.400	.376
8	.923	.853	.789	.731	.677	.627	.582	.540	.502	.467	.404	.351	.327
9	.914	.837	.766	.703	.645	.592	.544	.500	.460	.424	.361	.308	.284
10	.905	.820	.744	.676	.614	.558	.508	.463	.422	.386	.322	.270	.247
11	.896	.804	.722	.650	.585	.527	.475	.429	.388	.350	.287	.237	.215
12	.887	.788	.701	.625	.557	.497	.444	.397	.356	.319	.257	.208	.187
13	.879	.773	.681	.601	.530	.469	.415	.368	.326	.290	.229	.182	.163
14	.870	.758	.661	.577	.505	.442	.388	.340	.299	.263	.205	.160	.141
15	.861	.743	.642	.555	.481	.417	.362	.315	.275	.239	.183	.140	.123
16	.853	.728	.623	.534	.458	.394	.339	.292	.252	.218	.163	.123	.107
17	.844	.714	.605	.513	.436	.371	.317	.270	.231	.198	.146	.108	.093
18	.836	.700	.587	.494	.416	.350	.296	.250	.212	.180	.130	.095	.081
19	.828	.686	.570	.475	.396	.331	.276	.232	.194	.164	.116	.083	.070
20	.820	.673	.554	.456	.377	.312	.258	.215	.178	.149	.104	.073	.061
25	.780	.610	.478	.375	.295	.233	.184	.146	.116	.092	.059	.038	.030
30	.742	.552	.412	.308	.231	.174	.131	.099	.075	.057	.033	.020	.015

Año	16%	18%	20%	24%	28%	32%	36%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
1	.862	.847	.833	.806	.781	.758	.735	.714	.667	.625	.588	.556	.526
2	.743	.718	.694	.650	.610	.574	.541	.510	.444	.391	.346	.309	.277
3	.641	.609	.579	.524	.477	.435	.398	.364	.296	.244	.204	.171	.146
4	.552	.516	.482	.423	.373	.329	.292	.260	.198	.153	.120	.095	.077
5	.476	.437	.402	.341	.291	.250	.215	.186	.132	.095	.070	.053	.040
6	.410	.370	.335	.275	.227	.189	.158	.133	.088	.060	.041	.029	.021
7	.354	.314	.279	.222	.178	.143	.116	.095	.059	.037	.024	.016	.011
8	.305	.266	.233	.179	.139	.108	.085	.068	.039	.023	.014	.009	.006
9	.263	.226	.194	.144	.108	.082	.063	.048	.026	.015	.008	.005	.003
10	.227	.191	.162	.116	.085	.062	.046	.035	.017	.009	.005	.003	.002
11	.195	.162	.135	.094	.066	.047	.034	.025	.012	.006	.003	.002	.001
12	.168	.137	.112	.076	.052	.036	.025	.018	.008	.004	.002	.001	.001
13	.145	.116	.093	.061	.040	.027	.018	.013	.005	.002	.001	.001	.000
14	.125	.099	.078	.049	.032	.021	.014	.009	.003	.001	.001	.000	.000
15	.108	.084	.065	.040	.025	.016	.010	.006	.002	.001	.000	.000	.000
16	.093	.071	.054	.032	.019	.012	.007	.005	.002	.001	.000	.000	
17	.080	.060	.045	.026	.015	.009	.005	.003	.001	.000	.000		
18	.069	.051	.038	.021	.012	.007	.004	.002	.001	.000	.000		
19	.060	.043	.031	.017	.009	.005	.003	.002	.000	.000			
20	.051	.037	.026	.014	.007	.004	.002	.001	.000	.000			
25	.024	.016	.010	.005	.002	.001	.000	.000					
30	.012	.007	.004	.002	.001	.000	.000						

Con Excel® de Microsoft estos valores se calculan con la ecuación $(1 + \text{interés})^{-\text{años}}$.

TABLA I.4 Valor presente de una anualidad de $1.

Año	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%
1	0.990	0.980	0.971	0.962	0.952	0.943	0.935	0.926	0.917	0.909
2	1.970	1.942	1.913	1.886	1.859	1.833	1.808	1.783	1.759	1.736
3	2.941	2.884	2.829	2.775	2.723	2.673	2.624	2.577	2.531	2.487
4	3.902	3.808	3.717	3.630	3.546	3.465	3.387	3.312	3.240	3.170
5	4.853	4.713	4.580	4.452	4.329	4.212	4.100	3.993	3.890	3.791
6	5.795	5.601	5.417	5.242	5.076	4.917	4.766	4.623	4.486	4.355
7	6.728	6.472	6.230	6.002	5.786	5.582	5.389	5.206	5.033	4.868
8	7.652	7.325	7.020	6.733	6.463	6.210	6.971	5.747	5.535	5.335
9	8.566	8.162	7.786	7.435	7.108	6.802	6.515	6.247	5.985	5.759
10	9.471	8.983	8.530	8.111	7.722	7.360	7.024	6.710	6.418	6.145
11	10.368	9.787	9.253	8.760	8.306	7.887	7.449	7.139	6.805	6.495
12	11.255	10.575	9.954	9.385	8.863	8.384	7.943	7.536	7.161	6.814
13	12.134	11.348	10.635	9.986	9.394	8.853	8.358	7.904	7.487	7.103
14	13.004	12.106	11.296	10.563	9.899	9.295	8.745	8.244	7.786	7.367
15	13.865	12.849	11.938	11.118	10.380	9.712	9.108	8.559	8.060	7.606
16	14.718	13.578	12.561	11.652	10.838	10.106	9.447	8.851	8.312	7.824
17	15.562	14.292	13.166	12.166	11.274	10.477	9.763	9.122	8.544	8.022
18	16.398	14.992	13.754	12.659	11.690	10.828	10.059	9.372	8.756	8.201
19	17.226	15.678	14.324	13.134	12.085	11.158	10.336	9.604	8.950	8.365
20	18.046	16.351	14.877	13.590	12.462	11.470	10.594	9.818	9.128	8.514
25	22.023	19.523	17.413	15.622	14.094	12.783	11.654	10.675	9.823	9.077
30	25.808	22.397	19.600	17.292	15.373	13.765	12.409	11.258	10.274	9.427

Año	12%	14%	16%	18%	20%	24%	28%	32%	36%
1	0.893	0.877	0.862	0.847	0.833	0.806	0.781	0.758	0.735
2	1.690	1.647	1.605	1.566	1.528	1.457	1.392	1.332	1.276
3	2.402	2.322	2.246	2.174	2.106	1.981	1.868	1.766	1.674
4	3.037	2.914	2.798	2.690	2.589	2.404	2.241	2.096	1.966
5	3.605	3.433	3.274	3.127	2.991	2.745	2.532	2.345	2.181
6	4.111	3.889	3.685	3.498	3.326	3.020	2.759	2.534	2.339
7	4.564	4.288	4.039	3.812	3.605	3.242	2.937	2.678	2.455
8	4.968	4.639	4.344	4.078	3.837	3.421	3.076	2.786	2.540
9	5.328	4.946	4.607	4.303	4.031	3.566	3.184	2.868	2.603
10	5.650	5.216	4.833	4.494	4.193	3.682	3.269	2.930	2.650
11	5.988	5.453	5.029	4.656	4.327	3.776	3.335	2.978	2.683
12	6.194	5.660	5.197	4.793	4.439	3.851	3.387	3.013	2.708
13	6.424	5.842	5.342	4.910	4.533	3.912	3.427	3.040	2.727
14	6.628	6.002	5.468	5.008	4.611	3.962	3.459	3.061	2.740
15	6.811	6.142	5.575	5.092	4.675	4.001	3.483	3.076	2.750
16	6.974	6.265	5.669	5.162	4.730	4.033	3.503	3.088	2.758
17	7.120	6.373	5.749	5.222	4.775	4.059	3.518	3.097	2.763
18	7.250	6.467	5.818	5.273	4.812	4.080	3.529	3.104	2.767
19	7.366	6.550	5.877	5.316	4.844	4.097	3.539	3.109	2.770
20	7.469	6.623	5.929	5.353	4.870	4.110	3.546	3.113	2.772
25	7.843	6.873	6.097	5.467	4.948	4.147	3.564	3.122	2.776
30	8.055	7.003	6.177	5.517	4.979	4.160	3.569	3.124	2.778

Con Excel® de Microsoft estos valores se calculan con la función PV(interés, años $^{-1}$).

CRÉDITOS DE FOTOS

CAPÍTULO 1 *p. 3,* The McGraw-Hill Companies, Inc./Andrew Resek, fotógrafo; *p. 4,* Cortesía de L.L. Bean, Inc.; *p. 6,* Digital Vision/PunchStock; *p. 10,* Edgar R. Schoepal/ASSOCIATED PRESS; *p. 13,* Getty Images; *p. 14,* Library of Congress.

CAPÍTULO 2 *p. 21,* Getty Images; *p. 23,* Photodisc/Getty Images; *p. 25,* Louie Psihoyos/Science Faction/Corbis; *p. 28,* AFP/Getty Images; *p. 35,* Kim Kulish/CORBIS.

CAPÍTULO 3 *p. 39,* Cortesía de IDEO; *p. 41,* Associated Press; *p. 44,* Cortesía de W.L. Gore, Inc.; *p. 51,* Cortesía de Topspeed.com; *p. 53,* Cortesía de Stereolithography.com; *p. 56,* Tony Freeman/PhotoEdit; *p. 57,* Iain Masterton/Alamy.

CAPÍTULO 4 *p. 71,* Cortesía de Shouldice Hospital; *p. 74,* Star-Ledger Photographs/John O'Boyle © 2008 The Star-Ledger, Newark, NJ; *p. 82,* AFP/Getty Images.

CAPÍTULO 4A *p. 99,* AP Photo/Jamie-Andrea Yanak.

CAPÍTULO 5 *p. 107,* Cortesía de IDEO; *p. 109,* Axel M. Cipollini/Aurora/Getty Images; *p. 115,* Associated Press; *p. 116,* Jeff Greenberg/PhotoEdit; *p. 119,* Brand X Pictures/PunchStock; *p. 126,* Plush Studios/Bill Reitzel/Getty Images.

CAPÍTULO 5A *p. 138,* M. Freeman/PhotoLink/Getty Images; *p. 142,* Underwood & Underwood/CORBIS.

CAPÍTULO 6 *p. 157,* ROBYN BECK/AFP/Getty Images; *p. 159,* Cortesía de Dell Inc.; *p. 163* (arriba) Digital Vision/Getty Images, (abajo) David Parker/Photo Researchers, Inc., *p. 164* (arriba) William Taufic/CORBIS; (abajo), Getty Images.

CAPÍTULO 6A *p. 177,* Cortesía de Nokia; *p. 178,* Cortesía de Group Lotus Plc.; *p. 182*, Photofest, Inc.

CAPÍTULO 7 *p. 211,* FoodPix/Jupiterimages/Getty Images; *p. 213,* Keith Brofsky/Getty Images; *p. 220,* Adam Crowley/Photodisc/Getty Images; *p. 221,* Associated Press; *p. 222,* Tim Boyle/Getty Images; *p. 226,* Cortesía de The Kimpton Boutique Hotels.

CAPÍTULO 7A *p. 233,* Yellow Dog Productions/Riser/Getty Images; *p. 235*, Associated Press.

CAPÍTULO 8 *p. 263,* © 2009 NCR Corporation. Todos los derechos reservados; *p. 269,* Hulton Archive/Getty Images; *p. 272,* © 2009. Cardinal Health, Inc. o una de sus subsidiarias. Todos los derechos reservados. Pyxis®, CUBIE®, MedStation® y Pyxis STARTERx® son marcas registradas y SpecialtyStation™ es una marca registrada de Cardinal Health, Inc. o una de sus subsidiarias. 3PMP0588-02 (0309/1000); *p. 275,* © 2009 InTouch Technologies, Inc. Todos los derechos reservados. InTouch Technologies, InTouch Health, los logos de la compañía y otros nombres y servicios de la compañía son marcas registradas de InTouch Technologies, Inc.

CAPÍTULO 9 *p. 281,* Cortesía de General Electric; *p. 282,* Cortesía de National Institute of Standards & Technology; *p. 285,* Cortesía de Goodyear Tire and Rubber Company; *p. 287,* Cortesía de J.D. Power & Associates.

CAPÍTULO 9A *p. 305,* David Joel/Getty Images; *p. 307,* Tim Boyle/Getty Images; *p. 315,* Cortesía de Ford Motor Company; *p. 319,* Barry Willis/Taxi/Getty Images.

CAPÍTULO 10 *p. 333,* NASA Headquarters – GReatest Images of NASA (NASA-HQ-GRIN); *p. 337,* (arriba) Getty Images, (al centro) ELMER MARTINEZ/AFP/Getty Images, (abajo) Cortesía de Foster + Partners; *p. 345,* Thinkstock/Masterfile.

CAPÍTULO 11 *p. 373,* Li jianbin – Imaginechina/AP Worldwide Images; *p. 375,* Charlie Westerman/Stone/Getty Images; *p. 376,* Jeff Greenberg/Alamy; *p. 381,* Cortesía de Deutsche Post AG; *p. 382,* TWPhoto/Corbis; *p. 384,* Associated Press; *p. 386,* Associated Press.

CAPÍTULO 12 *p. 397,* Cortesía de Federal Express; *p. 398,* Cortesía de Deutsche Post AG; *p. 400,* Directphoto.org/Alamy; *p. 401,* Cortesía de Honda of America Mfg.

CAPÍTULO 13 *p. 417,* AFP/Getty Images; *p. 420,* Cortesía de Toyota Motor Sales, U.S.A., Inc.; *p. 421,* Cortesía de Dematic Corp.; *p. 423,* Cortesía de FKI Logistex®; *p. 427,* Cortesía de Kawasaki Motors Mfg., Corp., USA, Maryville Plant; *p. 434,* Dana Neely Photography/The Image Bank/Getty Images.

CAPÍTULO 13A *p. 451,* MEIGNEUX/SIPA/Associated Press; *p. 458,* Peter Yates/Time & Life Pictures/Getty Images; *p. 463,* Cortesía de Texas Instruments.

CAPÍTULO 14 *p. 472,* Jon Feingersh/Bland Images/Getty Images; *p. 476,* Jetta Productions/Iconica/Getty Images.

CAPÍTULO 15 *p. 483,* Cortesía de Walmart; *p. 484,* TRBfoto/Getty Images; *p. 493,* Cortesía de The Toro Company; *p. 508,* Cortesía de Gilmore Research Group – Seattle/Portland.

CAPÍTULO 16 *p. 529,* Ryan McVay/Getty Images; *p. 533,* RF/Corbis; *p. 535,* Cortesía de Finisar Corporation; *p. 545,* TravelStockCollection – Homer Sykes/Alamy.

CAPÍTULO 17 *p. 555,* Cortesía de Univted Parcel Service of America, Inc.; *p. 559,* Christoph Morlinghaus; *p. 568,* Associated Press; *p. 579,* AFP/Getty Images.

CAPÍTULO 18 *p. 595,* Ed Honowitz/Stone/Getty Images; *p. 596,* David R. Frazier Photolibrary, Inc./Alamy; *p. 599,* AFP/Getty Images; *p. 603,* John Zoiner/Workbook Stock/Getty Images.

CAPÍTULO 19 *p. 623,* Cortesía de Oakwood Healthcare System, Inc.; *p. 625,* Cortesía de Intelligent Instrumentation, Inc.; *p. 637,* Flip Chalfant/Riser/Getty Images.

CAPÍTULO 20 *p. 677,* Tsuneo Yamashita/Taxi Japan/Getty Images; *p. 683,* Cortesía de United States Steel Corporation.

ÍNDICE ANALÍTICO

Q

R

T